

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Liberec 2012

Bc. Lenka Smolíková

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: Průmyslový management

Studijní obor: Produktový management

Návrh vhodné skladby sendviče proti tepelným rizikům

Design of optimal sandwich composition against thermal risks

Bc. Lenka Smolíková

KHT - 149

Vedoucí diplomové práce: Ing. Hana Ivanišová

Konzultant diplomové práce: Ing. Ondřej Novák, PhD.

Rozsah práce:

Počet stran textu...	86
Počet obrázků.....	30
Počet tabulek.....	26
Počet grafů	10
Počet stran příloh .	40

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lenka Smolíková**
Osobní číslo: **T10000135**
Studijní program: **N3108 Průmyslový management**
Studijní obor: **Produktový management - Textil**
Název tématu: **Návrh vhodné skladby sendviče proti tepelným rizikům**
Zadávající katedra: **Katedra hodnocení textilií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Vypracujte rešerši textilních materiálů vhodných jako ochrana proti tepelnému riziku, zaměřte se zejména na odolnost proti sálavému a kontaktnímu teplu. Zohledněte také fyziologické vlastnosti materiálů a jejich zpracovatelnost.
2. Teoreticky se zabývejte aspekty, které významně ovlivňují odolnost materiálů proti sálavému a kontaktnímu teplu a na jejich základě navrhnete vhodnou skladbu sendvičů.
3. Odolnost navržených skladeb sendvičů vůči sálavému teplu experimentálně ověřte a získané výsledky diskutujte. Zohledněte také finanční náročnost navržených skladeb v porovnání se stávajícími sendviči.
4. Pokuste se navrhnout jiný než dosud užívaný materiál, který by zvýšil účinnost skladby materiálu proti sálavému teplu.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. ČSN EN 659+A1 (83 2366) Ochranné rukavice pro hasiče. Praha: Český normalizační institut, 2008.
2. ČSN EN 407 (832326) Ochranné rukavice proti tepelným rizikům (teplu a/nebo ohni). Praha: Český normalizační institut, 2005.
3. ČSN EN ISO 6942 (832744) Ochranné oděvy - Ochrana proti teplu a ohni - Zkušební metoda: hodnocení materiálu a kombinací materiálů vystavených sálavému teplu. Praha: Český normalizační institut, 2003.
4. Militký, J. Textilní vlákna; Speciální vlákna. První. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. 423s. ISBN 80-7083-892-2.
5. Jirouš, F. Aplikovaný přenos tepla a hmoty. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2010. 207 s. ISBN 978-80-01-04514-5.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Hana Ivanišová

Konzultant diplomové práce:

Ing. Ondřej Novák, Ph.D.

Katedra netkaných textilií

Datum zadání diplomové práce:

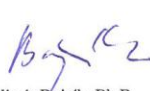
31. října 2011

Termín odevzdání diplomové práce:

9. května 2012


prof. RNDr. Aleš Linka, CSc.
děkan




Ing. Vladimír Bajžík, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2011

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum 14. 5. 2012

Podpis



Poděkování:

Děkuji vedoucí práce Ing. Haně Ivanišové za poskytnutí důležitých informací o dané problematice a věcné připomínky během zpracování mé diplomové práce. Velký dík patří Ing. Ondřeji Novákovi, PhD. za pedagogickou a odbornou pomoc a cenné rady. Také děkuji firmě Holík International s.r.o. za poskytnuté informace a textilní materiály k uskutečnění experimentálního měření. V neposlední řadě chci ze srdce poděkovat své rodině a příteli za psychickou podporu a vloženou důvěru.

Abstrakt

Tato diplomová práce se teoreticky zabývá způsoby přenosu kontaktního a sálavého tepla. Dále se zabývá vysoce tepelně odolnými materiály, které přicházejí v úvahu pro výrobu hasičských zásahových rukavic. V práci je experimentálně ověřen vliv emisivity na přestup sálavého tepla a taktéž jsou měřeny termofyzikální vlastnosti vybraných materiálů. Na základě získaných poznatků je navržena skladba rukavice s vysokou odolností vůči sálavému teplu a nízkou cenovou náročností.

Klíčová slova: sálavé teplo, kontaktní teplo, emisivita, textilní materiály, hasičské rukavice.

Abstract

The thesis perform an investigation process of contact and radiant heat. The highly heat-resistant textile materials used for manufacture of fire guard gloves are informing. Influence of emisivity on heat transfer is confirmed experimental and thermophysical properties was measured at selected materials. "Sandwich" optimal composition of emergency fire guard gloves related to high resistance to radiating heat and costs was designed.

Key words: radiant heat, contact heat, emisivity, textile materials, gloves for firefighters.

Obsah

1. ÚVOD	10
2. REŠERŠNÍ ČÁST	11
2.1. CHARAKTERISTIKA TEPLA	11
2.2. ZPŮSOBY PŘENOSU TEPLA	12
2.3. KONTAKTNÍ TEPLA	13
2.3.1. Tepelná vodivost	15
2.3.2. Parametry ovlivňující tepelnou vodivost ve vlákenných materiálech	16
2.4. SÁLAVÉ TEPLA	18
2.5. VYZAŘOVACÍ ZÁKONY	19
2.5.1. Kirchhoffův zákon	20
2.5.2. Lambertův-Bouguerův zákon absorpce	20
2.5.3. Dokonale černé těleso	22
2.5.4. Emisivita	22
2.6. HASIČSKÉ RUKAVICE A JEJICH SKLADBA	22
2.6.1. Funkce jednotlivých vrstev hasičské rukavice	23
2.7. TEXTILNÍ MATERIÁLY A USNĚ VHODNÉ PRO VÝROBU HASIČSKÝCH ZÁSAHOVÝCH RUKAVIC	24
2.7.1. Vybrané vysoce tepelně odolné textilní materiály a usně	25
2.7.2. Další používané materiály	30
2.8. METODIKY ZKOUŠENÍ HASIČSKÝCH ZÁSAHOVÝCH RUKAVIC PROTI TEPELNÝM RIZIKŮM A OHNI	32
2.8.1. Kontaktní teplo	32
2.8.2. Sálavé teplo	33
2.9. STANOVENÍ HYPOTÉZY	34
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	35
3.1. NÁVRH EXPERIMENTU	35
3.2. POUŽITÉ PŘÍSTROJE A ZAŘÍZENÍ	36
3.2.1. Přístroj pro měření termofyzikálních parametrů textilií – Alambeta	36
3.2.2. Přístroj a měřicí zařízení pro měření vlivu emisivity na přestup sálavého tepla	37
3.2.3. Přístroj pro měření indexu přestupu sálavého tepla	39

3.3.	POUŽITÉ MATERIÁLY A ZKUŠEBNÍ VZORKY	42
3.3.1.	<i>Použité zkušební vzorky při stanovení termofyzikálních parametrů na přístroji Alambeta</i>	42
3.3.2.	<i>Použité zkušební vzorky při stanovení vlivu emisivity na přestup sálavého tepla</i>	43
3.3.3.	<i>Použité zkušební vzorky při stanovení indexu přestupu sálavého tepla</i>	44
3.4.	POSTUP STANOVENÍ VYBRANÝCH PARAMETRŮ	46
3.4.1.	<i>Stanovení termofyzikálních parametrů textilií na přístroji Alambeta</i>	46
3.4.2.	<i>Stanovení vlivu emisivity na přestup tepla</i>	47
3.4.3.	<i>Stanovení indexu přestupu sálavého tepla</i>	48
3.4.4.	<i>Stanovení optimálního sendviče na základě výpočtu váhových kritérií</i>	49
4.	VÝSLEDKY	51
4.1.	VÝSLEDNÉ HODNOTY TERMOFYZIKÁLNÍCH PARAMETRŮ TEXTILIÍ ZÍSKANÉ NA PŘÍSTROJI ALAMBETA	51
4.2.	VÝSLEDKY Vlivu EMISIVITY NA PŘESTUP TEPLA	56
4.3.	VÝSLEDKY STANOVENÍ INDEXU PŘESTUPU TEPLA U RŮZNOBAREVNÝCH TEXTILNÍCH SKLADEB	64
4.4.	VÝSLEDKY STANOVENÍ INDEXU PŘESTUPU TEPLA U TEXTILIÍ S POVRCHOVOU ÚPRAVOU	66
4.5.	VÝSLEDKY STANOVENÍ INDEXU PŘESTUPU TEPLA U TEXTILIÍ MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ NOMEX	68
4.6.	NÁVRH OPTIMÁLNÍ SKLADBY SENDVIČE HASIČSKÉ ZÁSAHOVÉ RUKAVICE VZHLEDEM K ODOLNOSTI VŮČI SÁLAVÉMU TEPLU A CENOVÉ NÁROČNOSTI	70
5.	DISKUZE VÝSLEDKŮ	77
6.	ZÁVĚR	79
	SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ	81
	SEZNAM STUDOVANÝCH PRAMENŮ	83
	SEZNAM OBRÁZKŮ	84
	SEZNAM TABULEK	85
	SEZNAM GRAFŮ	86
	SEZNAM PŘÍLOH	86

Seznam použitých zkratek

Al	hliník
apod.	a podobně
Ba	bavlna
°C	stupeň Celsia
Cr	chrom
č.	číslo
FR	fire resistant (tepelná odolnost)
K	Kelvin
min	minuta
mm	milimetr
N	Newton
např.	například
ot./min	otáčky za minutu
Pa	Pascal
PU	polyuretan
PTFE	polytetrafluorethylen
s	sekunda (jednotka času)
s	směrodatná odchylka
s ²	rozptyl
T	teplota
\bar{t}	průměrný index přestupu sálavého tepla
tzv.	takzvaný
v	variační koeficient [%]
W	Watt (jednotka výkonu)
Zi	zinek
φ	vlhkost vzduchu
%	procenta
Σ	suma

1. Úvod

Dnes a denně dochází k požárům různých objektů, nehodám a přírodním katastrofám. V těchto případech nastupují zásahové složky, jako jsou profesionální a dobrovolní hasiči, kteří čelí rizikům spojených s vysokými teplotami při hašení požárů nebo při samotnému výcviku. Postup zajištění bezpečnosti hasičů se díky pokroku technologií zdá být jednoduchý, ve skutečnosti se ale jedná o velmi složitou problematiku, protože je nutno řešit více současně probíhajících jevů, a to především sálání a také vedení tepla. Hasiči často musí uchopovat předměty o vysoké teplotě, aby se např. dostali k ohnisku požáru, a v tomto případě dochází ke kontaktu rukavice se zdrojem tepla. Při zásahu dochází také k sálání tepla z plamenů hořících předmětů. Je tedy zřejmé, že nedílnou součástí hasičského ošacení jsou také rukavice. Ochrannou funkci rukavic lze zajistit použitím vysoce odolných textilií proti sálavému a kontaktnímu teplu a zároveň odolných proti mechanickým a chemickým rizikům.

V rešeršní části této práce je popsán princip přenosu tepla a činitelé ovlivňující prostup tepla textilií. Tato práce se také zabývá různými druhy textilních materiálů vhodných k výrobě hasičských zásahových rukavic. Zásahové rukavice pro hasiče se zhotovují z více vrstev textilních materiálů.

Cílem této práce bude navrhnout na základě teoretických poznatků a materiálové rešerše optimální skladbu sendviče hasičské zásahové rukavice s vysokou odolností vůči sálavému teplu a nízkou cenovou náročností.

2. Rešeršní část

V této kapitole diplomové práce jsou popsány principy kontaktního a sálavého tepla a způsoby přenosu tepla. Následně je psáno o skladbě hasičské zásahové rukavice a jsou uvedeny textilní materiály vhodné pro výrobu těchto rukavic.

2.1. Charakteristika tepla

Teplo je část vnitřní energie, kterou systém vymění (tj. absorbuje nebo odevzdá) při styku s jiným systémem, aniž by přitom docházelo ke konání práce. V našem případě mluvíme o tepelné výměně. Teplo popisuje procesy srážek jednotlivých částic konajících práci. Nelze je přesně sledovat ani měřit. O práci mluvíme, když způsobenou změnu energie můžeme vyjádřit jako součin veličin ($W=F \cdot s$; $W=P \cdot t$; $W=U \cdot I \cdot t$). Když se změna energie jako součin jiných měřitelných veličin vyjádřit nedá, jde o teplo. Teplo tedy popisuje změnu termodynamického stavu systému. Jednotky tepla jsou shodné s jednotkami energie a práce [Joule]. Při tepelné výměně dochází k přenosu energie vytvořené neuspořádaným pohybem částic, z nichž se skládá dané těleso (teplo přijímá a odevzdává v podobě tepla). Zejména u látek v tekutém a plynném skupenství je nutno uvažovat vedle kinetické energie částic i o energii jejich vzájemných interakcí a vazeb. Tepelná výměna nemusí být vždy doprovázena změnou teploty a nesouvisí s předáváním částic mezi systémy, se změnou jejich chemické podstaty, ani se změnami pohybového stavu systému. Změny tepla mohou být podobné určité mechanické práci nebo kinetické energii částic (vibrační, translační, rotační).

Rovnice výpočtu tepelné energie zní:

$$E = m \cdot c \cdot \Delta T \text{ [J]} \quad (1)$$

kde m hmotnost,
 c měrná tepelná kapacita,
 ΔT rozdíl počáteční a konečné teploty.

Z této rovnice vyplývá, že změna teploty ΔT je doprovázena nárůstem či snížením tepelné energie (tepla).

Teplota T patří mezi 7 základních SI veličin. Její jednotka je vyjadřována v Kelvinech [K], ale také se užívají stupně Celsia [°C] či stupně Fahrenheita [°F]. Určuje tepelný stav dané hmoty. Je důležité podotknout, že vlastnosti různých předmětů se mění s

jejich změnou teploty (např. s rostoucí teplotou se zvyšuje objem kapalin, roztahují se kovy, aj.). Tuto veličinu lze snímat pomocí teploměrů, pyrometrů a termokamer. Teplotu lze přesně určit, dojde-li k ustálení této hodnoty. Potom můžeme říct, že se měřené těleso nachází v tepelné rovnováze se svým okolím (nedochází k tepelné výměně mezi tělesem a jeho okolím). Proto každé těleso nacházející se v tepelné rovnováze má vlastnost zvanou teplota. [1]

V rovnici (1) také vystupuje měrná tepelná kapacita

$$c = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT} [=] \frac{J}{kgK} \quad (2)$$

resp. molová tepelná kapacita

$$C_m = \frac{1}{n} \frac{dQ}{dT} [=] \frac{J}{kmol \cdot K} \quad (3)$$

Tyto veličiny závisí na druhu látky a též na způsobu (průběhu) ohřevu, resp. ochlazování systému. Zkušenost ukazuje, že tepelné kapacity skutečných látek jsou dále závislé i na termodynamickém stavu. Celková tepelná kapacita C je dána součiny

$$C = m \cdot c = n \cdot C_m [=] \frac{J}{K} \quad (4)$$

a má analogické vlastnosti jako měrné, resp. molové tepelné kapacity. [2]

2.2. Způsoby přenosu tepla

Je na místě vzpomenout druhý termodynamický zákon o entropii, který vypovídá o tom, že teplo samovolně může přecházet pouze z tělesa teplejšího na těleso chladnější.

Přenos tepla se může uskutečňovat třemi způsoby a to:

- prouděním neboli konvekcí,
- vedením neboli kondukcí,
- zářením tj. radiací.

Skutečné děje představují téměř vždy kombinaci dvou nebo všech tří základních způsobů přenosu tepla.

O přenosu tepla prouděním nebude v této práci pojednáno, neboť k tomuto přenosu tepla dochází zejména u kapalin. Při proudění se dává hmotné prostředí (kapalina) do pohybu a unáší sebou teplo. [3]

2.3. Kontaktní teplo

Tepelná výměna při kontaktu dvou těles probíhá přenosem tepla tzv. vedením (kondukcí). Při vedení se teplo šíří tak, že makroskopické prostředí samo zůstává v klidu. Se vzrůstající teplotou roste amplituda kmitů atomu materiálu. Vedení tepla probíhá v látkách pevných, kapalných a plynných. Rychlost přenosu tepla lze vyjádřit veličinou zvanou tepelný tok. Tepelný tok Q [W] procházející rovinnou stěnou při konstantním rozdílu povrchových teplot na obou stranách stěny je možné popsat vztahem:

$$Q = S \frac{\lambda}{h} (t_{s1} - t_{s2}) \quad [\text{W}] \quad (5)$$

kdy S plocha, kterou teplo prochází,
 λ součinitel tepelné vodivosti stěny [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$],
 h tloušťka stěny [m],
 t_s teplota povrchu stěny [$^{\circ}\text{C}$].

Je nezbytné uvést tepelnou prostupnost (vodivost) Λ , kterou lze vyjádřit následujícím vztahem

$$\Lambda = \frac{\lambda}{h} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-1}] \quad (6)$$

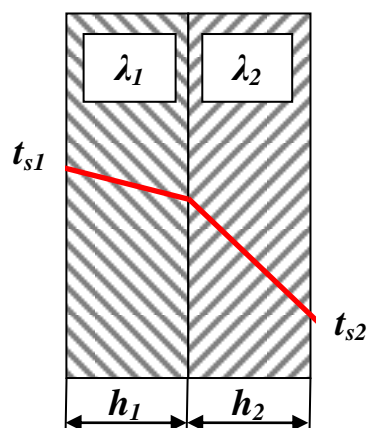
Tepelný odpor R stěny lze vyjádřit jako poměr tloušťky stěny a součinitele tepelné vodivosti stěny, jak je patrné z rovnice (7).

$$R = \frac{h}{\lambda} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (7)$$

Pro stěnu složenou z více vrstev platí, že její celkový tepelný odpor je dán součtem odporů jednotlivých vrstev. Zachováme-li označení teplot na vnějších površích stěny t_{s1} a t_{s2} , bude tepelný tok procházející stěnou složenou z n vrstev.

$$Q = \frac{S(t_{s1} - t_{s2})}{\sum_{j=1}^n \frac{h_j}{\lambda_j}} = \frac{S(t_{s1} - t_{s2})}{\sum_{j=1}^n R_j} \quad [\text{W}] \quad (8)$$

$$Q = \frac{S(t_{s1} - t_{s2})}{\frac{h_1}{\lambda_1} + \frac{h_2}{\lambda_2}} = \frac{S(t_{s1} - t_{s2})}{R_1 + R_2} \quad [\text{W}] \quad (9)$$



Obr. 1 - Vedení tepla složenou rovinnou stěnou

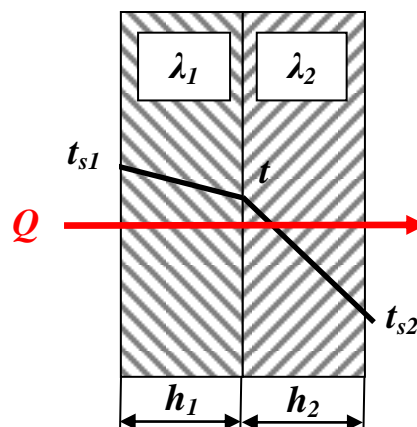
Můžeme provést následující odvození, ale pouze za předpokladu, že každou vrstvou projde stejné množství tepla

1. vrstva

$$Q = \frac{S(t_{s1} - t)}{R_1} \quad \frac{Q}{S} R_2 = (t_{s1} - t) \quad (10)$$

2. vrstva

$$Q = \frac{S(t - t_{s2})}{R_2} \quad \frac{Q}{S} R_2 = (t - t_{s2}) \quad (11)$$



Obr. 2 - Vedení tepla složenou rovinnou stěnou – odvození

Sečtením předcházejících rovnic vpravo dostaneme

$$\frac{Q}{S} (R_1 + R_2) = (t_{s1} - t) + (t - t_{s2}) \quad (12)$$

$$Q = \frac{S(t_{s1} - t_{s2})}{R_1 + R_2} \quad (13)$$

[3]

2.3.1. Tepelná vodivost

Tepelná vodivost vyjadřuje schopnost materiálu vést teplo, rovněž udává tepelný výkon, který projde plochou homogenního materiálu o velikosti 1 m^2 do vzdálenosti 1 m při teplotním rozdílu 1 K .

Transport tepla lze popsat například Fourierovým vztahem

$$q = -\lambda \cdot \text{grad} T \quad (14)$$

kde q je vektor hustoty toku tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$],
 λ součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 $\text{grad} T$ gradient teploty [$\text{K} \cdot \text{m}^{-1}$].

Znaménko mínus v rovnici (14) znamená, že vektor hustoty tepelného toku směřuje proti vektoru $\text{grad} T$. V souladu s druhým termodynamickým zákonem to znamená, že se teplo šíří od vyšší teploty k nižší [4]

Podle součinitele tepelné vodivosti můžeme materiály rozdělit na:

- vysoce tepelně izolační materiály
 $\lambda = 0,03 - 0,1 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ (objemová hmotnost do $500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
- materiály s dobrými tepelně izolačními vlastnostmi
 $\lambda = 0,10 - 0,30 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ (objemová hmotnost do $800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
- materiály se středními tepelně izolačními vlastnostmi
 $\lambda = 0,30 - 0,60 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ (objemová hmotnost do $1600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
- materiály s běžnými tepelně izolačními vlastnostmi
 $\lambda = 0,60 - 1,25 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ (objemová hmotnost do $2400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
- hutné anorganické materiály
 $\lambda = 1,25 - 3,5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ (objemová hmotnost $> 2400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
- ostatní hutné ortotropní materiály
 $\lambda > 3,5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
- kovy s velikostí tepelné vodivosti
 $\lambda > 50 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$

[5]

2.3.2. Parametry ovlivňující tepelnou vodivost ve vláknenných materiálech

1. Vliv teploty

Vzduch uzavřený v pórech izolačních materiálů je rozhodujícím pro izolační vlastnosti. Jelikož tepelná vodivost vzrůstá s teplotou, vyplývá z toho fakt, že i izolace mění svou vodivost s teplotou. Čím je teplota vyšší, tím větší je i tepelná vodivost izolace. [6]

2. Vliv zaplnění a objemové hmotnosti vláken

Zaplnění μ vyjadřuje hustotu vláken ve vláknenném útvaru. Je definováno jako rozdíl celkového prostoru útvaru, který je zaplněn objemem vláken.

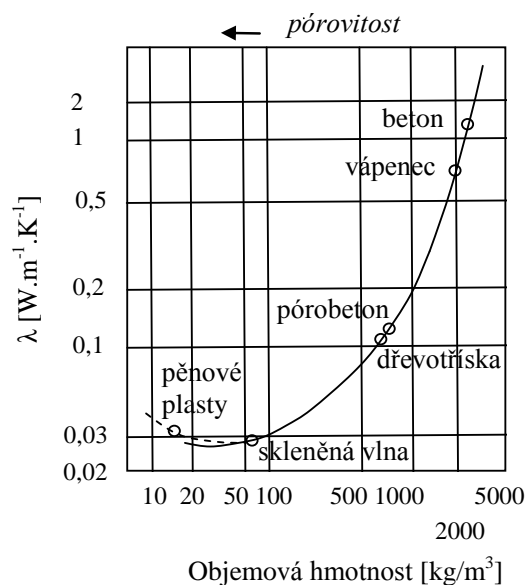
$$\mu = \frac{V}{V_C} = \frac{\gamma}{\rho} \quad (15)$$

kde V je objem vláken v útvaru [m^3],
 V_C je celkový objem [m^3],
 γ je měrná hmotnost vláken [kg/m^3],
 ρ je měrná hmotnost textilie [kg/m^3].

Na objemové hmotnosti závisí podíl textilie připadající na mezivláknenné prostory. Právě mezivláknenný prostor ovlivňuje tepelně izolační vlastnosti textilií. Schopnost izolovat závisí na počtu, tvaru a velikosti vzduchových pórů, a tím i na uložení vláken v prostoru. Parametry vláken a technologií zpracování to lze ovlivnit.

S klesajícím zaplněním klesá tepelná vodivost λ a roste tepelný odpor R . Důležitým předpokladem je suchý stav textilie a uzavřené vzduchové prostory. Poté se na přenosu tepla podílí pouze sálání (radiace) a vedení tepla (kondukce) soustavou vlákno - vzduch. Stacionární vzduch je v pórech velmi dobrým izolantem. Při teplotě 20°C je $\lambda_{\text{vzduchu}} = 0,0264 \text{ [W/m.K]}$. [7, 41]

Vláknenné materiály mají při malé objemové hmotnosti tepelnou vodivost vyšší. S rostoucí objemovou hmotností jejich tepelná vodivost rychle klesá do určitého minima a pak znovu roste. Minimum představuje nejvýhodnější objemovou hmotnost.[6]



Obr. 3 - Závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti u různých materiálů [5]

3. Vliv velikosti a množství pórů

V předchozím odstavci byla již zmínka o vlivu pórů na tepelnou vodivost, ale nyní se k této problematice vracím ještě jednou podrobněji.

Velikost pórů ovlivňuje kondukcí tepla a radiací tepla. Pro vedení tepla platí, že textilie s většími póry mají nižší vodivost, ale oproti tomu je větší sálání tepla. Sálavé teplo závisí na specifickém povrchu vlákna a následkem je větší radiační složka prostupu tepla. Pokud jsou póry větší než 9 mm, šíří se teplo navíc i konvekcí (prouděním), protože v takto velkých pórech již může cirkulovat vzduch. V pórech menších než 9 mm k cirkulaci vzduchu nedochází, protože se vzájemně ruší proudící stoupající (ohřáté) a klesající (ochlazující) proudy. [8]

4. Vliv jemnosti vláken

Jemnější vlákna mají větší měrný povrch materiálu a díky tomu lépe potlačují radiační prostup tepla textilií. V opticky hustším prostředí skýtajícímu materiálu je vyšší odpor vůči prostupu infračervených paprsků. Lze konstatovat, že čím jsou vlákna jemnější, tím je menší i radiace. To ale platí jen do určité kritické jemnosti, při překonání této jemnosti radiační složka tepelného prostupu opět vzrůstá. Tomuto nežádoucímu efektu je možné zabránit pokovením vláken hliníkovou vrstvou, ale to je nákladnější. [7]

5. Vliv vlhkosti

Vliv vlhkosti na tepelnou vodivost je velmi nepříznivý, neboť u každé izolace je vlhkostní vodivost zvyšována. Vlivem vlhkosti při prostupu tepla dochází k pohlcení tepelné energie vlhkostí a její přeměně na výparné teplo vody. Tyto částice jsou poté unášeny textilií na druhou stranu (tedy k povrchu, který má nižší teplotu). Vlivem tohoto transportu dojde zároveň i k přenosu tepelné energie částicemi.

6. Vliv směru toku tepla

Tepelná vodivost může být též ovlivněna polohou vláken ke směru prostupu tepla. U všech vlákenných hmot je tepelná vodivost při toku tepla kolmo k vláknům. Je to způsobeno tím, že při toku tepla souběžně s vlákny tvoří každé vlákno souvislou vodivou vrstvu. Při toku tepla kolmo k vláknům je tato vodivá vrstva přerušována vzduchovými mezerami a styk dvou sousedících vláken je na malé ploše. [6]

2.4. Sálavé teplo

Radiací tzv. sáláním je teplo přenášeno na dálku ve formě infračerveného záření. Teplo předávané zářením nepotřebuje při svém šíření materiálové prostředí. Tepelnou energii přenáší elektromagnetické vlnění, přičemž každé těleso vyzařuje z jednotky svého povrchu výkon úměrný čtvrté mocnině své absolutní teploty. Tímto způsobem se přenáší energie ve Slunci, na Zemi a ostatní tělesa sluneční soustavy.

Infračervené záření je elektromagnetické záření s vlnovou délkou 750 nm – 1 mm s frekvencí 300 GHz až 400 THz. Má vyšší vlnovou délku než viditelné světlo. Je kombinací příčného a postupného vlnění magnetického a elektrického pole neboli elektromagnetické vlnění. Tepelná energie systému je přenášena od svého zdroje elektromagnetickým zářením. Tuto energii lze vyjádřit vzorcem

$$E = h \cdot f \quad (16)$$

kde h je Planckova konstanta ($h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$),
 f frekvence příslušející dané vlně.

Infračervené záření tvořené fotony má velmi nízkou energii a nezpůsobuje ionizaci neutrálních atomů a molekul prostředí, kterým prochází. Infračervené záření se často označuje jako tepelné záření – radiací se přenáší tepelná energie. [1]

Sálání není závislé na teplotě prostředí, kterým prochází, avšak závisí na teplotě povrchu sálajícího tělesa.

Část sálavého toku Q [W] dopadajícího na povrch tělesa se odrazí (Q_R), část prostoupí tělesem (Q_D) a část je pohlcena (Q_A).

Bilanční rovnice pro dopadající sálání:

$$Q = Q_R + Q_A + Q_D \quad [\text{W}] \quad (17)$$

$$\frac{Q}{Q} = \frac{Q_R}{Q} + \frac{Q_A}{Q} + \frac{Q_D}{Q} \quad [\text{W}] \quad (18)$$

$$1 = R + A + D$$

R poměrná odrazivost

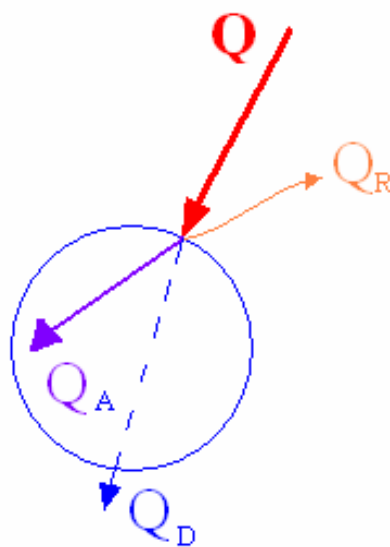
A poměrná pohltivost

D poměrná průteplivost

$R=1, A=0, D=0$ – zrcadlo

$R=0, A=1, D=0$ – absolutně černé těleso

$R=0, A=0, D=1$ – suchý vzduch [3]



Obr. 4 Schéma sálání [3]

2.5. Vyzařovací zákony

Obecné radiační zdroje se popisují koeficientem emisivity. Dokonale černé těleso má hodnotu emisivity ε 1 a tedy je dokonalým absorbentem tepla.

Podle Stefan-Bolzmannova zákona lze určit intenzitu záření absolutně černého tělesa v závislosti na jeho teplotě.

$$I = \sigma \cdot S \cdot T^4 \quad (19)$$

kde σ Stefan-Boltzmanova konstanta $\sigma = 5,670400 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$,

S povrch tělesa [m^2],

T povrchová teplota [K].

Zákon říká, že intenzita vyzařování černého tělesa roste se čtvrtou mocninou jeho teploty. Tedy, že dokonale černé těleso je dokonalým zářičem. [1]

2.5.1. Kirchhoffův zákon

Zákon popisuje zachování energie a způsob absorpce a emise záření pro různá tělesa.

V závislosti na vlastnostech těles dopadající tok Φ můžeme rozdělit na tři složky:

$$\Phi = \Phi_{\text{pohlčený}} + \Phi_{\text{odražený}} + \Phi_{\text{prošlý}}$$

- koeficient pohltivosti (absorpce): $\alpha = \Phi_{\text{pohlčený}} / \Phi$
- koeficient odrazivosti (reflexe): $\rho = \Phi_{\text{odražený}} / \Phi$
- koeficient propustnosti (transmise): $\tau = \Phi_{\text{prošlý}} / \Phi$

$$1 = \alpha + \rho + \tau \quad (20)$$

Lze tedy říci, že v zájmu zachování energie musí být v termodynamické rovnováze emitovaný tok a absorbovaný tok na všech vlnových délkách ve všech směrech při dané teplotě stejný. [9, 10].

Kirchhoffův zákon je definován:

$$\alpha(\lambda, \Theta, T) = \varepsilon(\lambda, \Theta, T) \quad (21)$$

Tabulka 1 - Koeficienty absorpce, transmise a reflexe pro různé typy materiálů

Koeficient	A (absorpce)	R (reflexe)	T (transmise)
AČT (dokonalý přijímač, absorbent)	1	0	0
ŠT (Šedé těleso)	<1, konstantní	1-A	0
Antireflexní materiál	A+T=1	0	A+T=1
Zrcadlo (dokonalý reflektor)	0	1	0
Dokonale propustný (ideální optické okno)	0	0	1
Matný (opacitní) materiál	A+R=1	A+R=1	0
Obecný materiál	$0 \neq (A, R, T) \neq 1$		

[1]

2.5.2. Lambertův-Bouguerův zákon absorpce

Lambertův-Bouguerův zákon popisuje absorpci svazku záření procházejícího rovinou kolmo umístěnou k tomuto svazku. Kolmo umístěná rovina představuje homogenní absorbující látku o tloušťce dx . Při průchodu záření touto rovinou se zmenší jeho intenzita I o dI . Předpokládáme, že pokles této intenzity záření dI bude úměrný intenzitě záření I , které prochází touto rovinou. Nutno dodat, že intenzita I je měřena na povrchu látky, kde vystupuje svazek záření. Intenzita vstupující I_0 je měřena v místě, kde toto záření do dané absorbující látky vstupuje. Látka absorbující je charakterizována součinitelem absorpce K , jenž je obecně závislý na vlnové délce záření. [11]

Odtud vyplývá, že:

$$dI = -K \cdot I \cdot dx \quad (22)$$

kde I intenzita vystupující z dané látky,
 K součinitel absorpce dané látky,
 dx tloušťka látky.

Pomocí integrací předešlé rovnice získáme konečný tvar Lambert-Bouguerova zákona absorpce:

$$I = I_0 \cdot e^{-Kd} \quad (23)$$

kde e základ přirozených logaritmů,
 I_0 intenzita záření vstupujícího do dané látky,
 K součinitel absorpce dané látky,
 d tloušťka látky.

Z rovnice předešlé je možné vyvodit dva hlavní parametry, které ovlivňují změnu intenzity infračerveného záření při průchodu látkou, a tím i výsledný teplotní reliéf. Těmito parametry jsou propustnost a absorpce látky.

Propustnost látky T je dána poměrem I/I_0 . Toto číslo je bezrozměrné a náleží intervalu od 0 do 1. Je exponenciálně závislá na koeficientu absorpce a tloušťce vrstvy, kterou prochází.

Propustnost látky je dána vztahem:

$$T = \frac{I}{I_0} = e^{-Kd} \quad (24)$$

Absorpce látky je dána vztahem:

$$A = \frac{I_0 - I}{I_0} = 1 - e^{-Kd} \quad (25)$$

Odtud vyplývá závislost absorpce a propustnosti látky. Tento vztah lze popsat jednoduchým vzorcem:

$$T + A = 1 \quad (26)$$

S rostoucí absorpcí klesá propustnost látky a naopak. V případě, že absorpce látky A je rovna 1, pak má těleso nulovou propustnost T a chová se jako absolutně černé těleso neboli jako dokonalý absorbent [11].

2.5.3. Dokonale černé těleso

Dokonale černé těleso pohlcuje veškeré dopadající záření a je dokonale vyzařujícím tělesem. Dokáže pohltit záření různých uhlů dopadu o libovolné spektrální záři. Zář černého tělesa je ve všech směrech konstantní a hodnota emisivity černého tělesa je rovna 1 [12].

2.5.4. Emisivita

Z výše uvedených zákonů lze tedy odvodit to, že emisivita je významnou vlastností materiálů. Emisivita je bezrozměrná veličina, charakterizující schopnost tělesa emitovat infračervené záření. U obecných těles se značí ε a nabývá hodnot $0 \leq \varepsilon \leq 1$. Je definována jako poměr intenzity vyzařování reálného tělesa H_E k intenzitě vyzařování absolutně černého H_{EO} tělesa o stejné teplotě $T [K]$. Emisivita závisí na kvalitě povrchu, materiálu, a v některých případech i na teplotě objektu, protože intenzita vyzařování jednotlivých materiálů závisí na povrchové úpravě a teplotě. Při přesném měření je však třeba pamatovat na skutečnost, že emisivita je závislá na řadě dalších jevů a její stanovení může být v řadě případů velmi obtížné [13].

2.6. Hasičské rukavice a jejich skladba

Hasičské rukavice jsou určeny pro ochranu rukou při hasičských zásazích.

Jelikož se jedná o ochrannou pracovní pomůcku III. kategorie, musí vyhovovat normě ČSN EN 659:2004+A1:2008 - Ochranné rukavice pro hasiče. Tato norma se skládá z dalších norem jako např. všeobecným požadavkům na rukavice podle normy ČSN EN 420:2004+A1:2010 – Ochranné rukavice – Všeobecné požadavky a metody zkoušení, s výjimkou délky rukavice a úchopové schopnosti prstů [14]. Rukavice musí být odolná proti mechanickému namáhání dle ČSN EN 388:2004 - Ochranné rukavice proti mechanickým rizikům, jako je Odolnost proti oděru, Odolnost proti prořezu, Odolnost proti propíchnutí, Odolnost proti dalšímu trhání. [42]. Hasičské rukavice jsou nejčastěji složeny z několika vrstev textilních materiálů nebo usní. Vyrábí se dvouvrstvé, třívrstvé nebo čtyřvrstvé. Skladba rukavice musí uživateli zajišťovat především vysokou ochranu vůči sálavému teplu a kontaktnímu teplu dle normy ČSN EN 407 – Ochranné rukavice proti tepelným rizikům. Materiál rukavice musí být také odolný vůči smrštění teplem, vodě i chemikáliím. Tedy na hasičské zásahové rukavice jsou kladeny vysoké nároky,

aby obstály v tak náročných podmínkách, ve kterých se hasiči vyskytují. Každá vrstva hasičské zásahové rukavice má jinou funkci a o nich bude popsáno dále.

2.6.1. Funkce jednotlivých vrstev hasičské rukavice

Jak již bylo řečeno výše, hasičská zásahová rukavice se skládá z více vrstev materiálů. Můžeme se setkat např. s třívrstevními rukavicemi. Tyto tři vrstvy tvoří kevlarová pletenina, jako podšívka, membrána jako střední vrstva a vrchní vrstvu tvoří nejčastěji hovězinová useň s voděodolnou, termostabilní a nehořlavou úpravou. Všechny typy vícevrstevních rukavic musí odolávat vysokým teplotám, ale také mechanickým rizikům. Tato práce se převážně zabývá rukavicemi čtyřvrstevními. Jednotlivé vrstvy tohoto sendviče jsou znázorněny na obrázku 5 a tvoří jej vrchní vrstva (1), mezivrstva (2), membrána (3) a podšívka (4). Číslování vrstev je zachováno i v následujícím textu, kde jsou jednotlivé vrstvy sendviče popsány.



Obr. 5 - Sendvič hasičské zásahové rukavice [15]

1. Vrchní vrstva

Je tvořena vrchovým materiálem, který musí zajišťovat vysokou odolnost vůči sálavému teplu, mechanickým rizikům, ale také proti pronikání vody, chemikálií. Materiály vhodné, jako vrstva nejdále od pokožky lidské ruky, jsou např. Nomex, PBI, Kermel, Kevlar, usně se speciální úpravou.

2. Mezivrstva

Mezivrstvu tvoří nejčastěji netkané textilie z aramidových vláken, jako je nomex, kevlar a jejich směsi. Mezivrstva by měla být velmi objemná a „nadýchaná“, aby zajistila co největší izolační vlastnosti. Tato vrstva zvyšuje odolnost rukavice proti teplu a mechanickým rizikům díky aramidovým vláknům, ale také chrání a prodlužuje životnost membrány, která je následující vrstvou hasičské zásahové rukavice.

3. Membrána

Membrána je druhou vrstvou od pokožky ruky a zajišťuje komfort rukavice tím, že propouští vodní páry, ale nepropouští vodu. Membrána tvoří bariéru, která nepropustí bakterie a choroboplodné zárodky přenášené krví. Její materiálové složení je nejčastěji polyuretan, který je však speciálně upraven, aby nehořel a neodkapával a nebo bi-komponentní polytetrafluorethylen/polyuretan s nehořlavou úpravou. Tato vrstva sendviče je velmi tenká a tedy neovlivňuje úchopovou schopnost rukavice.

4. Podšívka

Vrstvu nejbližší k lidské pokožce ruky tvoří podšívka, která je nejčastěji z kevlaru, bavlny nebo směsi modakrylu a bavlny. Tato vrstva by měla zajišťovat odvod potu od pokožky ruky, měla by mít vhodné omakové vlastnosti, být antibakteriální a neměla by způsobovat různá podráždění pokožky. Důležité je, aby se tato vrstva působením vysokých teplot netavila a neodkapávala. [15]

2.7. Textilní materiály a usně vhodné pro výrobu hasičských zásahových rukavic

Textilní materiály a usně vhodné pro výrobu hasičských zásahových rukavic musí být odolné vůči teple a mají nejen zabránit zapálení a šíření plamene, ale chránit jako bariéra proti pronikání vysokých teplot a plamene do dalších vrstev nebo na povrch lidského těla. [16]

Důležitou vlastností použitých vláken je jejich nehořlavost. Pro vyjádření hořlavosti se používá veličina limitní kyslíkové číslo (LOI), která odpovídá množství kyslíku (v procentech) ve směsi s dusíkem potřebného k hoření. Nehořlavá vlákna mají LOI 26 % a vyšší. Hodnoty LOI pro vybraná vlákna jsou uvedeny v příloze 1. [16]

$$LOI = \frac{O_2}{N_2 + O_2} \cdot 100 [\%] \quad (27)$$

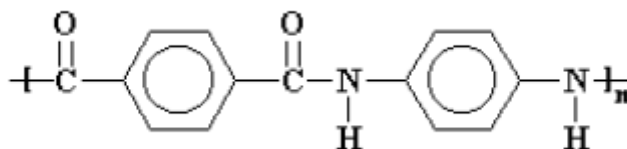
Nejznámější používané textilní materiály jsou aromatické polyamidy (aramidy), jako je např. nomex, kevlar apod. Další jsou twaron, technora, kermel, PBI, PBO. Uplatnění při výrobě hasičské rukavice naleznou také speciálně upravené přírodní usně, bavlna s nehořlavou úpravou, modakryl, polyuretan a další. Materiály basofil a kynol jsou popsány v následující kapitole, ale k výrobě hasičských rukavic se zatím nevyužívají.

2.7.1. Vybrané vysoce tepelně odolné textilní materiály a usně

Nejpoužívanějšími materiály jsou aromatické polyamidy díky svým termickým vlastnostem, ale také speciálně upravené přírodní usně, jako 1. vrstva rukavicového sendviče. O charakteristice vybraných materiálů bude pojednáno v této kapitole.

Kevlar

Kevlar patří do skupiny para-aromatických polyamidů. Řetězce aramidů jsou tuhé a to díky přítomnosti benzenových jader. Struktura vlákna je v důsledku silných mezimolekulárních sil (vodíkové můstky) vysoce krystalická (stupeň krystalinity 95 %). Jsou netavitelné (nejdříve se rozkládají). Kevlar má velmi dobrou odolnost proti vysokým teplotám, zachovává si svou pevnost a pružnost i ke kryogenickým teplotám (-196°C); dokonce je o něco pevnější při nízkých teplotách. Při vysokých teplotách je pevnost v tahu snížena o 10 – 20 %, a již po několika hodinách se pevnost nadále snižuje. Například při 160°C se snížení pevnosti o 10 % projeví po 500 hodinách. Při 260°C se snížení pevnosti o 50 % projeví po 70 hodinách. Při teplotě 450°C kevlar sublimuje. Přítomnost nevysycených polárních skupin N-H a C=O způsobuje navlhavost aramidových vláken. Vlhkost však nezpůsobuje příliš velký pokles mechanických vlastností. Kevlar je citlivý na ultrafialové záření, ale má však vysokou odolnost vůči oděru. Toto vlákno je obtížně barvitelné - většinou se barví ještě rozpuštěná forma. Relativní hustota kevlaru je 1440 kg/m³. LOI se pohybuje okolo 30 %. Kevlarová podšívka ve formě pleteniny (interlock) je často používána jako 4. vrstva (nejblíže k lidské pokožce) u vícevrstvých hasičských zásahových rukavic. Nesnadné oddělování (stříhání) kevlarových textilií je způsobeno právě vysokou pevností tohoto vlákna. [17, 18, 19]



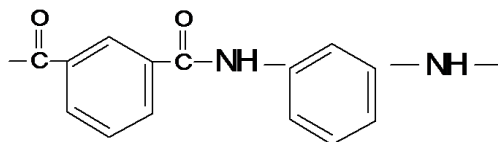
Obr. 6 - Strukturní vzorec Kevlaru [19]

Twaron

Twaron je vysoce výkonné vlákno stejné chemické struktury jako kevlar. Vlákná twaronu se skládají z dlouhých molekulových řetězců sestávajících z poly-paraphenylene terephthalamide. Je zde také mnoho meziřetězcových vazeb což dělá materiál extrémně pevným. Vyznačuje se vysokou rozměrovou stálostí, malým úbytkem pevnosti při opakovaném namáhání v tlaku, ohybu i abrazi a nízkou hořlavostí s LOI 29 %. Při vysokých teplotách je pevnost v tahu snížena o 10-20%, a již po několika hodinách se pevnost nadále snižuje. Například při 160°C se snížení pevnosti o 10% projeví po 500 hodinách. Při teplotě 450°C twaron sublimuje. K tavení dochází při teplotě 482 °C. [18, 20, 21, 22]

Nomex

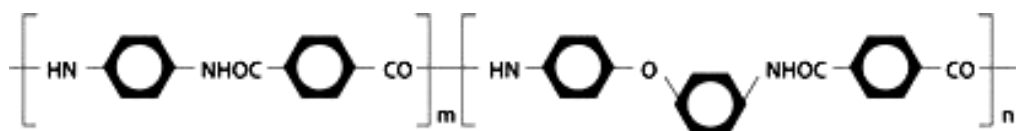
Nomex je prvním vláknem skupiny meta – aromatických polyamidů firmy DuPont. Toto vlákno je zajímavé především pro svoji termickou odolnost a elektrické izolační schopnosti. Nomex odolává dlouhou dobu teplotám až 300 °C, při nichž si zachovává rozměrovou stabilitu a vysokou hodnotu pevnosti v tahu. Jeho hustota je 1400 kg/ m³. Nomex je levnější, méně tuhý i méně pevný, lehce barvitelný oproti kevlaru a je odolný vůči chemikáliím. LOI = 26. Různé typy nomexů, jako je Nomex Comfort apod. nachází uplatnění jako 1. vrstva vícevrstvých hasičských zásahových rukavic. [18]



Obr. 7 - Strukturní vzorec Nomexu [18]

Technora

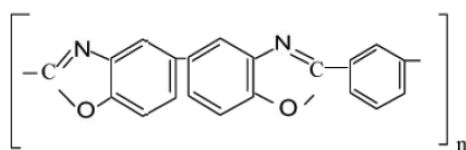
Technora® je obchodní značka firmy Teijin pro aromatický ko-polyamid. Tento aromatický ko-polyamid (ko-poly-(parafenylen/3,4-oxydifenylen tereftalamid)) je ideální pro dynamické aplikace vyžadující značnou pohybovou odolnost. Vyznačuje se však i vysokou tepelnou odolností, kdy práh termální dekompozice je při 500°C, takže technora může být dlouhodobě používána při teplotě 200°C. Při teplotě 250°C vykazuje více než polovinu hodnot své pevnosti v tahu při pokojové teplotě. LOI Technory se pohybuje kolem 29 %. Technora má velmi vysokou odolnost proti kyselinám, zásadám a organickým rozpouštědlům. [21, 23, 24]



Obr. 8 - Strukturální vzorec Technory [24]

PBI

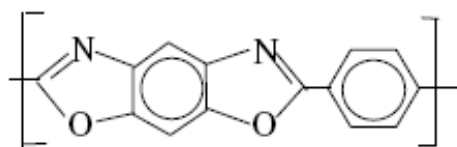
Polybenzimidazol (PBI) má aromatickou „žebříčkovitou“ strukturu řetězců. Patří tedy mezi polymery s výjimečnou tepelnou a chemickou stabilitou. Rozkládá se při 450 °C na vzduchu a více než 1000 °C v dusíkové atmosféře a má LOI = 45 %. Jeho teplota zesklňování je 430 °C. Vláknina se vyrábějí z roztoku v dimethylacetamidu za sucha. Speciální operací je zpracování ve vodném roztoku kyseliny sírové a následné tepelné zpracování. Účelem je omezení sráživosti při styku s plamenem pod 10 %. Komerční vlákno vydrží 3 – 5 s při teplotě 600 °C, 5 min při 450 °C a 24 hod. při 330°C. Při tepelném rozkladu se uvolňuje pouze malé množství kouře a plynů. Jeho měrná hmotnost je 1430 kg/m³. Nevýhodou jsou nízké stálosti vůči UV záření. Vláknina jsou silně navlhavá (15 %). Tkaninu ze směsi PBI často se silikonovým zátěrem lze použít jako 1. vrstvu vícevrstevných hasičských zásahových rukavic. [18]



Obr. 9 - Strukturální vzorec PBI [18]

PBO

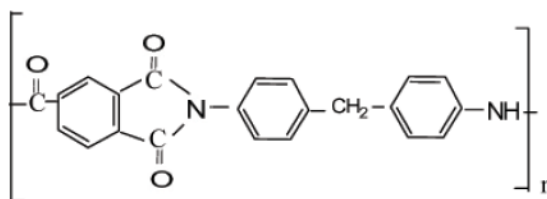
PBO je aromatickým heterocyklickým polymerem s tuhými řetězci (s pevností v tahu teoreticky až 480 GPa). Vláknina je na bázi poly (p-fenylén, 2,6 – benzolisoxasolu). Má vynikající mechanické vlastnosti, tepelnou odolnost (předčí o 100 °C aramidy). PBO vlákna mají LOI=68 %, což je jedna z nejvyšších hodnot mezi organickými vláknami. Měrná hmotnost je 1560 kg/m³ a teplota rozkladu 650 °C. Běžně se setkáváme s obchodním názvem Zylon. Cenově jsou PBO vlákna dražší než standardní uhlíková a aramidová vlákna. Během používání probíhá rychlá chemická degradace polymeru, i vlivem působení světelného záření. [18, 19]



Obr. 10 - Strukturální vzorec PBO [19]

Kermel

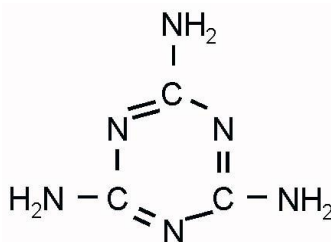
Kermel je název pro polyamidimidová vlákna od firmy Rhodia. Jedná se o polymer, který se rozkládá při 380 °C, teplota zesklenní je kolem 315 °C a měrná hmotnost je 1340 kg/m³. Vláknem se vyrábí zvlákněním z roztoku v dimethylacetamidu za sucha nebo za mokra. Je téměř amorfní. Kermel lze dlouhodobě používat při teplotách do 250 °C. Při výrobě hasičských zásahových rukavic si najde uplatnění díky nehořlavosti, kdy LOI je 32 %. K nevýhodám patří nízká odolnost vůči UV záření. [18]



Obr. 11 - Strukturní vzorec Kermelu [18]

Basofil

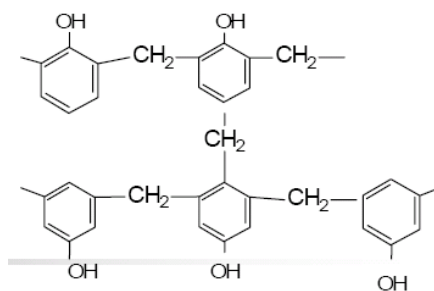
Basofil je obchodní název pro vlákno na bázi melaminoformaldehydových pryskyřic. Basofil má vysokou tepelnou odolnost a ohnivzdornost. LOI tohoto vlákna se pohybuje okolo 32 %. Teplota tavení toho vlákna je 370 °C. Má nízkou tepelnou vodivost. Chemická odolnost těchto vláken vůči zásadám a organickým rozpouštědlům je vynikající. Lze jej tedy použít pro výrobu ochranných oděvů, tepelně izolačních bariér díky extrémní odolnosti vůči vysokým teplotám. [16, 25, 26]



Obr. 12 - Strukturní vzorec – Basofil [27]

Kynol

Fenol-aldehydové vlákno Kynol je díky své struktuře netavitelné a nehořlavé. LOI = 33 %. Vláknem je i vysoce chemicky odolné, protože je tvořeno třírozměrně zesíťným polymerem podobným fenolické pryskyřici. Hustota tohoto vlákna je 1,27 g/cm³. Začátek tepelné degradace (uhelnatění) je při 370 °C. Kynol je vysoce ohnivzdorný s vynikající tepelnou izolací. Je tedy vhodný pro výrobu ochranných oděvů. [16, 19, 26]



Obr. 13 - Strukturní vzorec – Kynol [16]

K výrobě hasičských zásahových rukavic se tedy používají vysoce tepelně odolná vlákna (aromatické polyamidy), tedy vlákna tepelně odolná. Při rychlém ohřevu meta-aramidů plamenem dochází k tomu, že vlhkost ve tvaru páry a plynné produkty degradace zvýší výrazně objem „změkklého“ vlákna. Vytvoří se zuhelnatělá pěnovitá vrstva, která je zhruba 10x silnější než původní vlákenná vrstva, která izoluje textilií a zabraňuje další degradaci. Po odstranění plamene dochází k jeho uhasení. Problém je, že se vlivem zvýšené teploty meta-aramidová vlákna srážejí, což má za následek vznik trhlin v textiliích a roste nebezpečí popálenin. Pro ochranné oděvy se proto často využívá přízí ze směsi meta- a para-aramidů. Meta-aramidy tvoří pěnovitou bariéru a para-aramidy zajišťují integritu textilie. [16, 18]

Přírodní usně

Přírodní usně je produktem surové kůže. Získává se z kůže, odstraněním chlupů, pokožky, podkožního vaziva a rozpuštěním mezivláknových bílkovin, vyčištěním a úpravou. Po vyschnutí přítomné vody netvrdne, mechanickým opracováním měkne, stává se ohybnou. Usně je tvořena třemi vrstvami, kdy 1. je pokožka. Pokožka má různou tloušťku, je pórovitá a po zpracování na ní zůstává patrná kresba. Druhou vrstvu tvoří škára, která je nejmohutnější a nejvzácnější vrstva kůže. Škára je hustá spleť vláken, kde hustota spleti určuje pevnost a tažnost usně. Spojení škóry s pokožkou je papilární vrstvou, která určuje usní lícní kresbu. Čím je vyvinutější, tím je lícní kresba výraznější, kůže je prodyšnější, ale její pevnost je menší. Spojení s podkožním vazivem je retikulární vrstvou, jejíž tloušťka určuje pevnost a tažnost usní. [28]

Při výrobě vícevrstvých zásahových hasičských rukavic se používají lícové i štípané hovčiny, teletiny, koziny jako 1. vrstva rukavice. Přírodní usně mají vysokou tepelnou odolnost, avšak nevýhodou je jejich srážení při tepelném působení. V oddělovacím procesu výroby se usně vysekávají pomocí raznic po jedné vrstvě. U textilních materiálů se vysekávají jednotlivé díly ve více vrstvách a dochází tak ke značnému

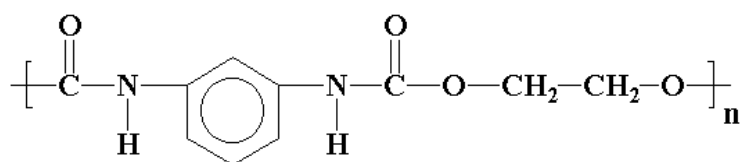
zkrácení časů při oddělovacím procesu. U usní je také nutné sledovat celistvost vrstvy a vyhnout se místům s poškozením. Nevýhodou při oddělovacím procesu je také vznikající velký odpad.

2.7.2. Další používané materiály

Jednou z vrstev hasičské zásahové rukavice je membrána. Membrány mohou být z PU s nehořlavou úpravou nebo kombinace PTFE s PU.

Polyuretan

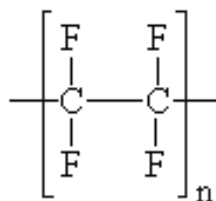
Polyuretany (PU) jsou kondenzační produkty diolů a diizokyanátů. Polykondenzace je podporována zvýšením teploty. Výhodou PU je jejich flexibilita doprovázená stálostmi v oděru a vůči vodě, resp. rozpouštědlům. Segmentované PU s obsahem „měkkých“ a „tvrdých“ bloků fungují jako elastomery, resp. materiály s tvarovou pamětí. Spojení mezi tvrdými a měkkými úseky je realizováno pomocí „uretanové“ vazby $-\text{CO}-\text{O}-\text{OH}$. Při přechodu těchto materiálů přes teplotu zesklnění dochází k výraznému snížení modulu a zvýšení segmentální pohyblivosti měkkých bloků. To se projeví výrazným zvýšením propustnosti pro vzduch i vodní páry, ale je zachována nepropustnost pro kapalnou vodu. [16]



Obr. 14 - Strukturní vzorec – Polyuretan [29]

Polytetrafluorethylen

Polytetrafluorethylen (PTFE) se vyrábí adiční polymerací tetrafluorethylénu. Jeho typickou zvláštností je velmi nízká povrchová energie, která zabraňuje smáčení. PTFE je tedy vodoodpudivý, tak také odpudivý vůči olejům a odolává rozpouštědlům resp. chemikáliím. Je také tepelně stálý do 250 °C a teplota tání je přibližně 327 °C, nad teplotou 350 °C se rozkládá a hoří teprve při 500 – 560 °C. Membrána z PTFE se často používá v kombinaci s PU. [16, 30]

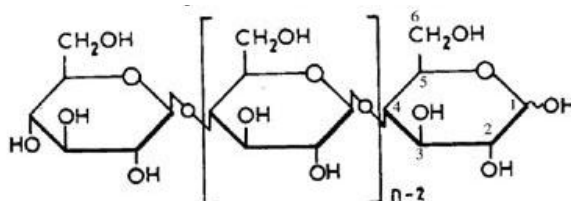


Obr. 15 - Strukturní vzorec – PTFE [31]

Pro vrstvu nejbližší k pokožce ruky – podšívku se používají materiály jako je bavlna, modakryl, ale také kevlar, o němž bylo psáno v kapitole 2.7.1.

Bavlna

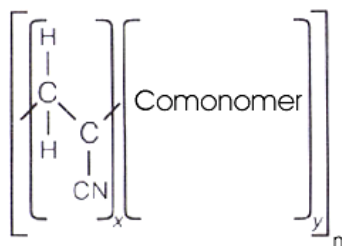
Je přírodním vláknem s nejčistším zdrojem celulózy, která tvoří 88 – 96 % vlákna. Dále obsahuje pektiny, bílkoviny, vosky atd. Pevnost bavlny za sucha je 2 – 4 cN/dtex, za mokra 100 - 120 % pevnosti za sucha. Mercerací se pevnost zvyšuje > 7 cN/dtex. Tažnost za sucha je 6 - 10%, za mokra 100 - 110 % tažnosti suché. Bavlna patří mezi hořlavá vlákna, kdy LOI je 17-19 %. Teploty kolem 140 °C způsobí po delší době ztrátu pevnosti. Při teplotě nad 200 °C začne vlákno hnědnout a při vyšších teplotách zuhelnatí. Bavlna s nehořlavou úpravou nalezne uplatnění při výrobě hasičské zásahové rukavice jako podšívka – tedy vrstva nejbližší k lidské pokožce a to díky svým omakovým vlastnostem a schopnosti odvádět pot. [32, 33]



Obr. 16 - Strukturní vzorec – Celulóza [34]

Modakryl

Modakryl je kopolymerem, kdy 50-85 % je polyakrylonitril a zbytek tvoří metakryl. Modakryl má nízkou tepelnou vodivost a je nehořlavý, neboť LOI je 31 %. Při teplotě větší jak 160°C začíná vlákno žloutnout a při teplotě 235°C měkne. U teploty 253°C se materiál sráží o 5%. Má také vynikající odolnost vůči chemikáliím a rozpouštědlům a je nealergenní. Má výbornou savost, prodyšnost a příjemný omak. V hasičské zásahové rukavici se používá jako vrstva nejbližší k pokožce ruky, tedy jako podšívka a to samostatně nebo ve směsi s bavlnou. [35, 36, 37]



Obr. 17 - Strukturní vzorec – Modakryl (Akrilonitril) [37]

2.8. Metodiky zkoušení hasičských zásahových rukavic proti tepelným rizikům a ohni

Při návrhu rukavice pro hasiče musí být kladen důraz na odolnost proti tepelným rizikům a ohni. Tepelnými riziky mohou být např. kontaktní a sálavé teplo. Nejen tato tepelná rizika vznikají pro hasiče při hoření. Hoření lze definovat jako proces, při kterém jsou zapotřebí tři složky a to hořlavý materiál, dostatečná tepelná energie a dostatek kyslíku. Při ohřevu textilních vláken v přítomnosti kyslíku dochází k těmto procesům:

- absorpce tepla a ztráta vlhkosti vláken;
- generace hořlavých plynů vlivem tepelného rozkladu (pyrolýzy) vláken;
- zapálení hořlavého plynu (radikálová reakce mezi hořlavým plynem a kyslíkem v plynné fázi);
- vývin tepla hoření, které dále zvyšuje vývin hořlavých plynů. [16]

Snahou je tedy potlačení jedné ze složek a to použitím tepelně odolných materiálů k výrobě hasičských zásahových rukavic, které jsou podrobeny zkoušení a testování např. proti zmíněným tepelným rizikům.

2.8.1. Kontaktní teplo

Kontaktní teplo je velkým rizikem, neboť dochází ke kontaktu rukavice s tepelným zdrojem. Toto zkoušení se provádí podle normy ČSN EN 702 (83 2752) – Ochranné oděvy – Ochrana proti teplu a ohni – Zkušební metody pro stanovení prostupu tepla ochranným oděvem nebo jeho materiály při dotyku. Zkušební materiál určený k výrobě hasičské zásahové rukavice se odebere z dlaňové části o průměru 80 ± 8 mm. Zkouška se provádí pomocí vyhřívaného válce, který se přiloží na zkušební vzorek položený na kalorimetru. Zjišťuje se doba do dosažení prahu bolesti t_r , nejméně však 10 s. Provedou

se minimálně tři měření a z těchto hodnot je spočítán aritmetický průměr, kdy výsledná hodnota musí splňovat požadavky uvedené v tabulce 2.

Tabulka 2 - Úrovně (třídy) provedení pro zkoušku kontaktního tepla

<i>Úroveň (třída) provedení</i>	<i>Kontaktní teplota T_c [°C]</i>	<i>Doba do dosažení prahu bolesti t_t [s]</i>
1	100	≥ 15
2	250	≥ 15
3	350	≥ 15
4	500	≥ 15

Zkušební vzorek musí dosahovat přinejmenším úrovně 3, jinak udávaná úroveň (třída) provedení pro kontaktní teplo smí být maximálně 2. [38, 39]

2.8.2. Sálavé teplo

Odolnost textilních materiálů vhodných pro výrobu hasičských zásahových rukavic vůči sálavé teplo se zjišťuje (zkouší) dle normy ČSN EN ISO 6942 (83 2744) – Ochránné oděvy – Ochrana proti teplu a ohni – Zkušební metoda: hodnocení materiálu a kombinací materiálů vystavených sálavému teplu. Zkouška se provádí na dvou zkušebních vzorcích o rozměrech 80 ± 5 mm x 170 ± 5 mm a musí být odebrány ze hřbetní části páru rukavic. Je definován tepelný tok a to 20 kW/m^2 . Je zjišťován index přestupu sálavého tepla u tří zkušebních vzorků. Z naměřených hodnot je počítán aritmetický průměr a zkušební materiál musí splňovat požadavky uvedené v tabulce 3.

Tabulka 3 - Úrovně (třídy) provedení pro zkoušku kontaktního tepla

<i>Úroveň (třída) provedení</i>	<i>Přestup tepla t_{24} [s]</i>
1	≥ 7
2	≥ 20
3	≥ 50
4	≥ 95

Pro radiální (sálavé) teplo smí být udávána úroveň (třída) provedení je tehdy, pokud je pro chování při hoření stanovena úroveň (třída) provedení 3 nebo 4. Index přestupu sálavého tepla by neměl být menší než 20 s. [38, 40]

Tento typ zkoušení je popsán více v experimentální části této práce, neboť je součástí experimentálního měření.

2.9. Stanovení hypotézy

Na základě v rešerši uvedených poznatků se lze domnívat, že pokud bude vrchní vrstva vykazovat co nejnižší emisivitu a tepelnou vodivost, střední vrstva (mezivrstva) bude schopna pojmout velké množství vzduchu podobně jako vrstva komfortní (podšívka), bude možno dosáhnout vyšších odolností vůči sálavému teplu v porovnání se stávajícími sendviči.

3. Experimentální část

Experimentální část této diplomové práce se zabývá studií různých typů textilních materiálů při působení sálavého tepla. Na základě měření jsou navrženy skladby vhodné pro hasičské zásahové rukavice. K realizaci experimentální části budou tedy použity textilní materiály vhodné k výrobě zásahových rukavic pro hasiče.

3.1. Návrh experimentu

Hlavním cílem diplomové práce je nalézt vhodnou skladbu textilních materiálů pro hasičské zásahové rukavice s vysokou odolností vůči sálavému teple.

Nejprve budou zjištěny termofyzikální parametry vybraných textilních materiálů pomocí přístroje Alambeta. Zjištěnými parametry budou např. měrná tepelná vodivost, tepelný tok, plošný odpor vedení tepla, ale také tloušťka použitých materiálů.

Bude provedeno experimentální měření u materiálů lišících se barevným odstínem a u komerčně používaných materiálů nomex, za účelem zjištění vlivu emisivity na přestup tepla, která hraje významnou roli, jak již bylo zmíněno v kapitole 2.5.4. K tomuto měření budou využity různé druhy a různá uspořádání měřících zařízení.

V experimentální části budou zohledněny i vlivy povrchových úprav zvyšujících odolnost textilií vůči působícímu tepelnému záření (sálavému teple). Tento experiment byl navržen na základě poznatků uvedených v kapitole 2.3.2, bod 4.

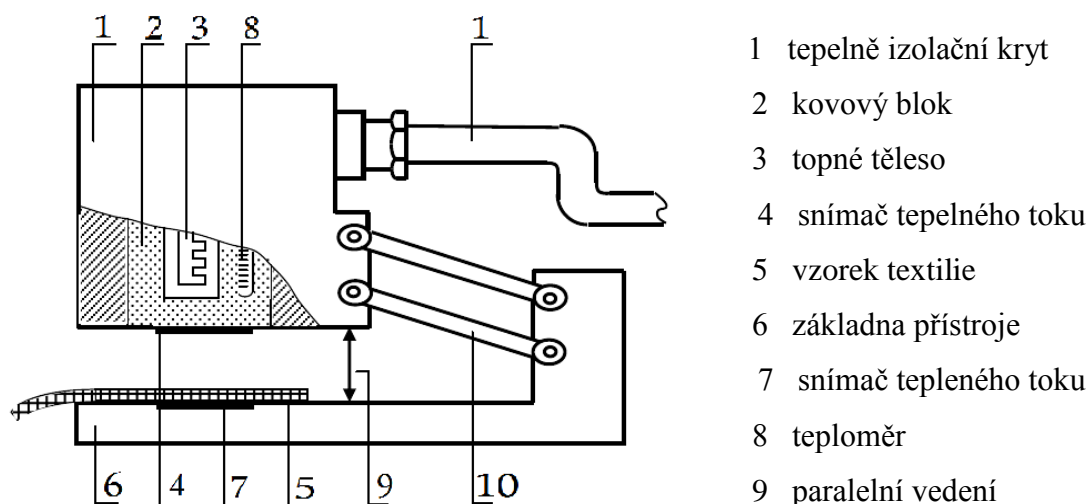
V závěru práce budou navrženy optimální skladby hasičských zásahových rukavic na základě výsledků předcházejících měření a bude ověřena jejich odolnost vůči sálavému teple dle příslušné normy. Vhodnost těchto skladeb bude posuzována nejen podle odolnosti vůči sálavému teple, ale i cenové náročnosti a také celkové tloušťky, která je rozhodující z hlediska konfekce hasičské rukavice. K posouzení bude použito váhové kritérium.

3.2. Použité přístroje a zařízení

K uskutečnění experimentu byly použity různé typy přístrojů a měřicích zařízení jako jsou přístroj Alambeta, bezdotykové a dotykové měřiče teploty, přístroj pro měření indexu přestupu sálavého tepla, které budou popsány v následujících podkapitolách.

3.2.1. Přístroj pro měření termofyzikálních parametrů textilií – Alambeta

Přístroj Alambeta je určen pro stanovení termofyzikálních parametrů při stacionárních stavech (tepelný odpor, tepelnou vodivost), tak i dynamických (tepelná jímavost, tepelný tok). Popis přístroje je uveden na obrázku 18.



Obr. 18 - Schéma přístroje Alambeta

Parametry, které přístroj Alambeta měří, jsou následující:

- Tloušťka materiálu h [mm].
- Měrná tepelná vodivost λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$], kdy λ jako součinitel tepelné vodivosti představuje množství tepla, které proteče jednotkou délky za jednotku času a vytvoří rozdíl teplot 1K. Hodnoty získané z přístroje musely být přepočítány, děleny 10^3 .
- Plošný odpor vedení tepla r [$\text{W}^{-1}\text{K}\cdot\text{m}^2$]. Tato hodnota byla vypočítána pomocí vztahu:

$$r = \frac{h}{\lambda} \quad (28)$$

a musela být dělena 10^3 .

- Tepelný tok q [W/m^2], kdy q vyjadřuje množství tepla šířící se z ruky (hlavice přístroje) o teplotě t_2 do textilie o počáteční teplotě t_1 za jednotku času. Pro krátkou dobu kontaktu přibližně platí vztah:

$$q = b \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{\pi \cdot \tau}} \quad (29)$$

- Tepelná jímavost b [$\text{Wm}^{-2} \text{ s}^{1/2} \text{ K}^{-1}$]: Tento parametr je jediným, který charakterizuje tepelný omak a představuje množství tepla, které proteče při rozdílu teplot 1 K jednotkou plochy za jednotku času v důsledku akumulace tepla v jednotkovém objemu. Platí zde vztah:

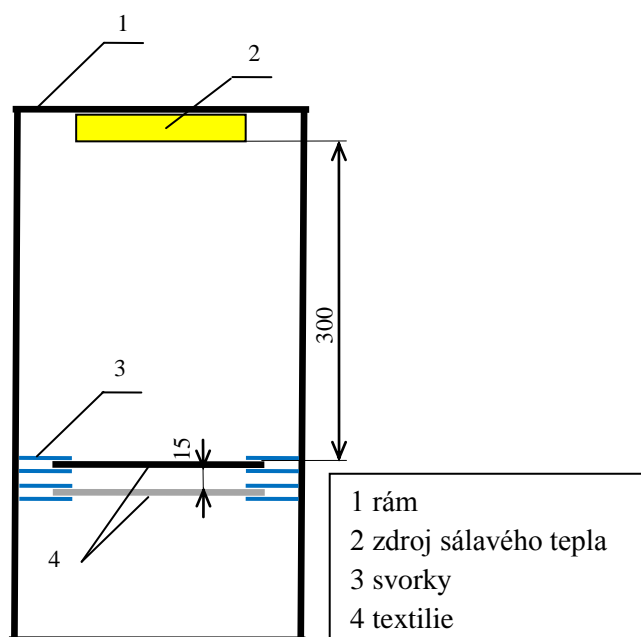
$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad (30)$$

Součin $\rho \cdot c$ [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$] představuje množství tepla potřebného k ohřátí 1 kg látky o 1 K. Hodnota, získaná z přístroje, byla dělena 10^6 . [43]

3.2.2. Přístroj a měřící zařízení pro měření vlivu emisivity na přestup sálavého tepla

Pro měření vlivu emisivity na přestup sálavého tepla u textilních materiálů byl sestaven přístroj skládající se z rámu přístroje, zdroje sálavého tepla, svorek pro uchycení zkušebních vzorků. Rám přístroje je zhotoven z pozinkovaného plechu, ze kterého jsou vyrobeny profily. Zdroj sálavého tepla je složen ze tří topných tyčí o celkovém příkonu 2000 W. Během zkoušení byla v činnosti pouze jedna topná tyč, která dosahovala teploty 280 ± 3 °C. Dva páry svorek pro uchycení zkušebních vzorků jsou vyrobeny z nerez oceli. Schéma přístroje i fotografii lze vidět na obrázcích 19 a 20. Vzdálenost zdroje sálavého tepla od zkušebních vzorků byla 300 mm z důvodu hořlavosti použitých materiálů ze 100% bavlny. Jednotlivé textilie byly od sebe vzdáleny 15 mm, což představuje vzduchovou mezeru mezi jednotlivými vrstvami zkušebních vzorků. K získání tepelných hodnot zkušebních vzorků byly použity dva typy měřících zařízení. Jedním z měřících zařízení je univerzální měřící přístroj Omega Supermeter TrueRMS HHM 290, který je schopen měřit teplotu, jak dotykově pomocí termočlánku, tak také bezdotykově pomocí infračerveného teploměru. Dalším měřícím zařízením je infračervený teploměr. Zařízení jsou znázorněna na obrázcích 21 a 22.

Zkušební přístroj:



Obr. 19 - Schéma přístroje



Obr. 20 - Fotografie přístroje

Měřicí zařízení:



*Obr. 21 - Omega Supermeter
TrueRMS HHM 290*

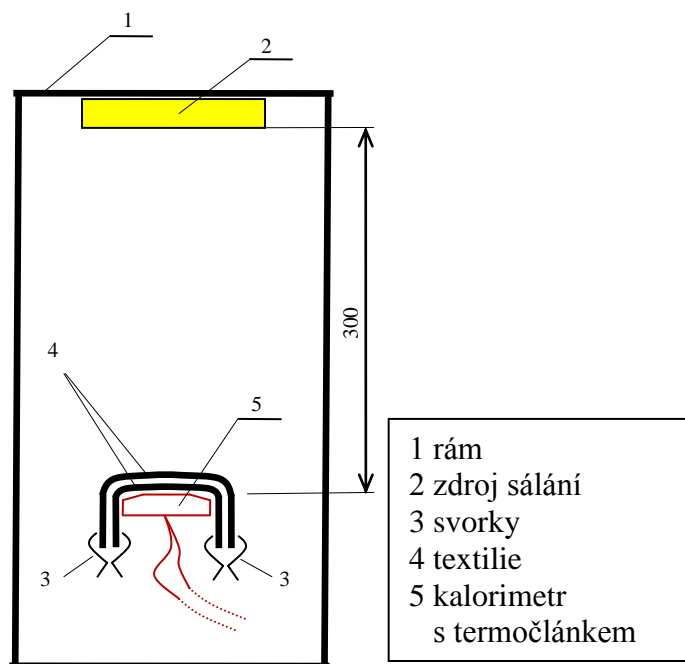


*Obr. 22 - Bezkontaktní
infračervený teploměr E sun*

3.2.3. Přístroj pro měření indexu přestupu sálavého tepla

Pro měření indexu přestupu sálavého tepla byl použit měřicí přístroj uvedený v kapitole 3.2.2. Byla však použita jiná měřicí zařízení, kterými byl kalorimetr s termočlánkem a měřicí modul AD24USB. Měřicí zařízení slouží k měření indexu přestupu sálavého tepla, tedy času potřebného k nárůstu teploty kalorimetru o $12 \pm 0,2$ °C. Došlo i k odlišnému upevnění zkušebních vzorků a to pomocí svorek (závaží), které přidržovaly zkušební vzorky tahovou silou 2 N. Přístroj s měřicím zařízením byl sestaven podle normy ČSN EN ISO 6942 + A1 [40] Odchytky od normy spočívají v nižším počtu topných tyčí a celkovému nižšímu příkonu. Dále zde chybí pohyblivá clona, protože zakrytí vzorků je zajištěno jiným způsobem. V jednom případě měření (viz kapitola 3.2.2) byla v činnosti pouze jedna topná tyč zdroje sálání, která dosahovala teploty 280 ± 3 °C. Přístroj s měřicím zařízením je znázorněn na obrázcích 23, 24, 25, 26.

Zkušební přístroj:

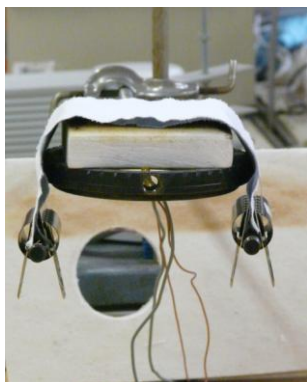


Obr. 23 - Schéma přístroje



Obr. 24 - Fotografie přístroje s kalorimetrem

Měřicí zařízení:



Obr. 25 - Kalorimetr s termočlánkem a upevněným textilním materiálem



Obr. 26 - Měřicí modul AD24USB

Kalorimetr je vyroben z měděného plechu ve tvaru obdélníkové destičky a je umístěn na základovou desku. Ke kalorimetru je připevněn měřicí modul AD24USB (viz obr. 26). Tento modul obsahoval autonomní procesor řízený AD převodníkem s vysokou rozlišovací schopností. Byl galvanicky oddělený od obvodu počítače. Tento přístroj slouží k měření napětí na termočlánku a přepočtu na teplotu. Pomocí programu je možné snímat průběh teploty v závislosti na čase během celé zkoušky. [40]

Další použití přístroje

Uvedený typ přístroje byl také použit k měření indexu přestupu tepla u navržených sendvičů. Během měření byly v činnosti všechny tři topné tyče a byl přesně definován tepelný tok. Tedy před začátkem měření byla provedena kalibrace stanovením úrovně dopadajícího tepelného toku Q .

Hustota dopadajícího tepelného toku Q , v kW/m^2 byla vypočítána z následující rovnice:

$$Q_0 = \frac{M \cdot C_p \cdot R}{A \cdot \alpha} \quad (31)$$

kde	M	je hmotnost měrné destičky v kg,	
	C_p	měrné teplo mědi $0,385 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$,	
	R	míra nárůstu teploty kalorimetru v lineárním průběhu ve $^\circ\text{C/s}$,	
	A	plocha měděné destičky v m^2 ,	
	α	součinitel absorpce nabarveného povrchu kalorimetru.	[40]

Výpočet hustoty dopadajícího tepelného toku:

$$M = 0,0359 \text{ kg}$$

$$C_p = 0,386 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$A = 0,05 \times 0,0503 = 2,515 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\alpha = 0,95$$

$$R = \frac{A \cdot Q \cdot \alpha}{M \cdot C_p}$$

$$R = 0,0478/0,01386 = \underline{\underline{3,45 \text{ } ^\circ\text{C/s}}} \quad Q_0 = \frac{0,0359 \cdot 0,386 \cdot 3,45}{2,515 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95} = \underline{\underline{20,01 \text{ kW/m}^2}}$$

3.3. Použité materiály a zkušební vzorky

K experimentálním měření byly použity různé typy zkušebních vzorků. Jednotlivé zkušební vzorky jsou popsány v následujících podkapitolách.

3.3.1. Použité zkušební vzorky při stanovení termofyzikálních parametrů na přístroji Alambeta

Termofyzikální parametry byly měřeny na přístroji Alambeta (viz kapitola 3.2.1) u 38 zkušebních vzorků, kdy fotodokumentace těchto materiálů je součástí přílohy 2. Zkušební vzorky se lišily, jak materiálovým složením, pak také parametry jako je tloušťka a plošná hmotnost. Plošná hmotnost m_p byla počítána podle vztahu:

$$m_p = \frac{\bar{m}}{S} \quad [\text{g/m}^2] \quad (32)$$

kde \bar{m} průměrná hmotnost zkušebního vzorku zjištěná vážením,
S plocha zkušebního vzorku.

Výsledky plošné hmotnosti zkušebních vzorků jsou součástí zmíněné fotodokumentace. Zkoušené materiály mají odlišnou funkci a umístění ve vícevrstevném sendviči hasičské zásahové rukavice, a proto byly členěny dle umístění v sendviči, jako 1. až 4. vrstva.

Materiály vhodné pro 1. vrstvu: Nomex Comfort žlutý, Nomex DeltaC červený, KERMEL, Nomex Comfort černý se zátěrem, Nomex III oranžový, PBI s SI zátěrem gold, Lícová hovězinová useň 0,9 mm - 1,1 mm, Nomex III zelený, Nomex Comfort šedý, Nomex s SI zátěrem II., Nomex s SI zátěrem III., Nomex s PU zátěrem I., Nomex diana, PBI Matrix se zátěrem, hovězinová štípenka 0,9 mm - 1,1 mm, Para-aramid se zátěrem PU/Al, Nomex DeltaC červený se zátěrem, pletenina Nylon/aramid se zátěrem.

Materiály vhodné pro 2. vrstvu - mezivrstvu: NT nomex/kevlar, recyklovaná aramidová NT 60 g/m², recyklovaná aramidová NT 100 g/m², NT 50 % aramid 50 % ba, NT 100 % kevlar.

Materiály vhodné pro 3. vrstvu (membrána): PU s nehořlavou úpravou, PTFE/PU s nehořlavou úpravou a membrána opatřená výstupky.

Materiály vhodné pro 4. vrstvu – podšívku: bavlněná počesaná pletenina s nehořlavou úpravou, aramidová pletenina s počesem, modakryl/Ba podšívka, podšívka

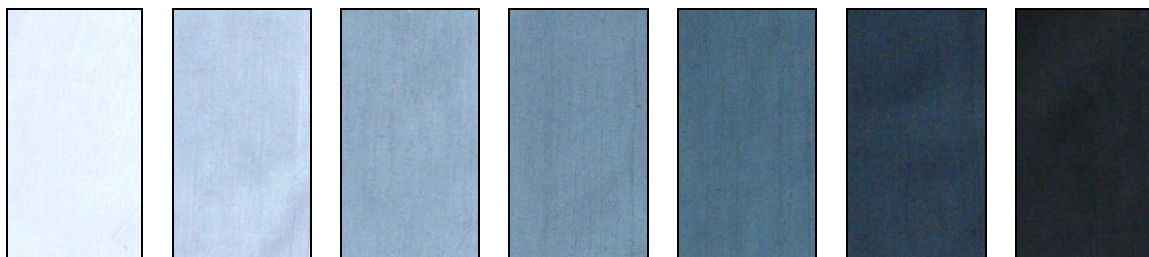
kevlar/PL/sklo, kevlarová interlokovaná pletenina, kevlar/Ba/protex – M podšívka, Para-aramid froté 320g/m² a 380 g/m², 3D aramidová pletenina.

Další zkušební vzorky měřené na přístroji Alambeta byly polyuretanová pěna, 3D pletenina PL, bavlněná tkanina.

Zkušební vzorky o minimálních rozměrech 100 x 100 mm byly před zkoušením klimatizovány dle normy ČSN EN ISO 139.

3.3.2. Použité zkušební vzorky při stanovení vlivu emisivity na přestup sálavého tepla

Zkušební vzorky materiálového složení 100% bavlna o rozměrech 240x200 mm byly barveny běžnými barvivý značky Iberia na šedou škálu barev. Celá barevná škála měla sedm odstínů a ty byly dále značeny čísly od 1 do 7, neboť odstíny nebyly zjišťovány objektivními metodami (viz Obr. 27).



Obr. 27 - Ukázka barvené šály zkušebních vzorků – (zleva) 1 - bílá, 2 - velmi světle šedá, 3 - světle šedá, 4 - středně šedá, 5 - tmavě šedá, 6 - velmi tmavě šedá, 7 – černá

Z připravených zkušebních vzorků byly vytvořeny dvouvrstvé skladby, kdy vrchní vrstva byla buď černé, nebo bílé barvy a spodní vrstvu postupně tvořily všechny odstíny šedé škály barev. Bylo vytvořeno celkem 14 dvouvrstvých skladeb, které byly proměřeny na přístroji uvedeném v kapitole 3.2.2.

3.3.3. Použité zkušební vzorky při stanovení indexu přestupu sálavého tepla

a) Zkušební vzorky – různobarevné textilie

Tyto zkušební vzorky byly téměř shodné se zkušebními vzorky z kapitoly 3.3.2, lišily se pouze velikostí 230 x 80 mm. Bylo také vytvořeno 14 dvouvrstvých skladeb a ty byly proměřeny na přístroji uvedeném v kapitole 3.2.3.

b) Zkušební vzorky – textilie s povrchovou úpravou

Zkušební vzorky byly materiálového složení 100% bavlna o rozměrech 230 x 80 mm a tyto vzorky byly opatřeny různými druhy povrchových úprav. Povrchová úprava byla provedena pomocí spreje, tedy došlo k nástřiku aplikace, nebo lepicích pásek s obsahem kovových částic, jak je patrné z obrázků 28,29. Množství aplikace bylo procentuálně vyjádřeno.

Na zkušební vzorky byly aplikovány tři různé typy sprejů:

- sprej s chromovým efektem značky Dupli - color,
- zinkový sprej s odolností do 600 °C v odstínu matné šedé značky Dupli -color,
- hliníkový s 99,5 % čistého hliníku a odolností vrstvy až 800 °C značky Weicon.

Další zkušební vzorky byly opatřeny dvěma druhy lepicích pásek:

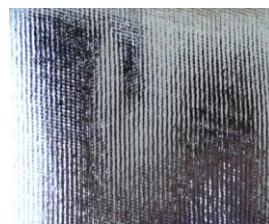
- hliníkovou a textilní „stříbrnou“.

Na zkušební vzorky se „stříbrnou“ páskou byly ještě nanесeny již uvedenými třemi typy sprejů. Tyto tři typy zkušebních vzorků jsou znázorněny na obrázku 29.

Během této zkoušky byl také zkoušen textilní materiál para-aramid s PU/Al zátěrem zobrazený na obrázku 30.



Obr. 28 - Zkušební vzorky – zleva – Ba+chrom, Ba+Zinek, Ba+Hliník, Ba+hliníková páska, Ba+„stříbrná“ páska



Obr. 29 - Bavlněné textilie se „stříbrnou“ páskou a různými nástřiky, zleva chromový, zinkový, hliníkový

Obr. 30 – Para-aramid s PU/Al zátěrem

Značení zkušebních vzorků:

Ba + Cr	bavlněná tkanina s chromovým nástřikem
Ba + Zi	bavlněná tkanina se zinkovým nástřikem
Ba + Al	bavlněná tkanina s hliníkovým nástřikem
Ba + Al páska	bavlněná tkanina s hliníkovou páskou
Ba + „stříbrná“ páska	bavlněná tkanina s textilní „stříbrnou“ páskou
Ba + „stříbrná“ páska + Cr	bavlněná tkanina s textilní „stříbrnou“ páskou a chromovým nástřikem
Ba + „stříbrná“ páska + Zi	bavlněná tkanina s textilní „stříbrnou“ páskou a zinkovým nástřikem
Ba + „stříbrná“ páska + Al	bavlněná tkanina s textilní „stříbrnou“ páskou a hliníkovým nástřikem

c) Zkušební vzorky –textilie materiálového složení nomex

Zkušební vzorky materiálového složení nomex o rozměrech 230 x 80 mm se lišily barevnými odstíny, tloušťkou a také plošnou hmotností (viz příloha 2). U 11 typů zkušebních vzorků byl zjišťován index přestupu sálavého tepla na přístroji uvedeném v kapitole 3.2.3. Tyto zkušební vzorky byly také proměřeny na přístroji Alambeta, kde byly zjišťovány termofyzikální vlastnosti a tloušťka.

3.4. Postup stanovení vybraných parametrů

Hlavními zjišťovanými parametry byly termofyzikální vlastnosti textilií, vliv emisivity na přestup tepla u různých typů textilií a index přestupu sálavého tepla u navržených skladeb hasičských zásahových rukavic. V následujících kapitolách jsou popsány postupy zjišťování těchto parametrů.

3.4.1. Stanovení termofyzikálních parametrů textilií na přístroji Alambeta

Měření termofyzikálních parametrů bylo provedeno u 38 zkušebních materiálů (viz kapitola 3.3.1) vhodných pro jednotlivé vrstvy skladby hasičské zásahové rukavice.

Klimatické podmínky:

$T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\varphi = 66\%$

Postup měření:

Na přístroji Alambeta (viz kapitola 3.2.1) bylo měřeno dle příslušného manuálu. Tedy přístroj byl zapnut a ponechán v klidu 15 min za účelem vyhřátí snímače tepelného toku na teplotu $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, což odpovídá teplotě lidské pokožky. Zkušební vzorky byly vloženy mezi horní (vyhříváný) a spodní (nevyhříváný) snímač tepelného toku. Oproti manuálu byly vzorky vkládány lící stranou vzhůru, protože to lépe odpovídá směru prostupu tepla zkoumané aplikace (hasičské rukavice). Vyhříváný snímač tepelného toku nebo jinými slovy také vyhříváná hlavice sjela směrem dolů a dosedla na zkušební materiál při přítlaku 200 Pa. Po naměření zjišťovaných parametrů hlavice vyjela nahoru a došlo k zaznamenání výsledných hodnot. Každý zkušební vzorek byl proměřen na pěti různých místech a výsledky měření byly vyjádřeny pomocí výpočtu aritmetického průměru, směrodatné odchylky, rozptylu, variačního koeficientu a 95% intervalu spolehlivosti a jsou uvedeny v kapitole 4.1 a příloze 3.

3.4.2. Stanovení vlivu emisivity na přestup tepla

Vliv emisivity na přestup sálavého tepla byl zjišťován různými metodami měření teploty textilií v různých kombinacích dvouvrstevných skladeb při působení tepelného sálavého zdroje. Měření probíhalo u 14-ti dvouvrstevných skladeb uvedených v kapitole 3.3.2 pomocí přístroje a měřících zařízení znázorněných v kapitole 3.2.2.

Klimatické podmínky:

$T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\varphi = 66\%$

Postup měření:

Zkušební vzorky byly předem připraveny a klimatizovány dle ČSN EN ISO 139. Jednotlivé vrstvy dvouvrstevných zkušebních vzorků byly uchyceny do svorek umístěných na rámu přístroje. Vrchní vrstvou byla textilie černé nebo bílé barvy a spodní textilií postupně tvořily všechny odstíny šedé škály barev. Teplota zdroje sálavého tepla činila $280 \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bylo provedeno vždy šest měření teplotních hodnot u 14-ti dvouvrstevných skladeb uvedených v kapitole 3.3.2 za použití dvou typů měřících zařízení, které jsou znázorněny v kapitole 3.2.2. Měření probíhalo v průběhu času a to 15 minut.

Výsledky měření byly zpracovány do tabulek a grafů, kdy je zřejmý tepelný nárůst v průběhu času a od 9. minuty času nastává v mnoha případech ustálení této teploty. Z těchto hodnot byly provedeny statistické výpočty a vypočtené průměrné hodnoty ustálených teplot byly zaneseny do grafů (viz kapitola 4. 2 a příloha 4).

3.4.3. Stanovení indexu přestupu sálavého tepla

Indexem přestupu sálavého tepla chápeme číslo vyjadřující průměrný čas (měřený v sekundách zaokrouhlených na jedno desetinné místo) potřebný k dosažení nárůstu teploty kalorimetru o 12 °C nebo 24 °C. V našem případě byl měřen nárůst teploty kalorimetru o 12 °C

Klimatické podmínky:

$T = 22\text{ °C}$

$\varphi = 66\%$

Postup měření:

Zkušební vzorky byly předem připraveny a klimatizovány dle ČSN EN ISO 139. Měření probíhalo na přístroji znázorněném v kapitole 3.2.3. Po zapnutí zdroje sálání se počkalo do ustálení jeho teploty, ta byla měřena pomocí infračerveného teploměru. Zkušební vzorky byly postupně upevněny a to pomocí svorek (závaží) přes kalorimetr. Následně došlo ke spuštění měřicího zařízení a zároveň přiblížení zdroje sálání. Teplota kalorimetru před každým měření musela být $\pm 2\text{ °C}$ od okolní teploty. Po nárůstu teploty o 12 °C se zaznamenal výkon, který krátce po vystavení působení vykázal krátký nelineární průběh závislosti mezi teplotou a časem. Následoval lineární průběh, který trval do zastavení působení teploty (viz příloha 8). Zdroj sálavého tepla byl tedy odejmut a naměřená hodnota byla zaznamenána.

Za těchto podmínek byly postupně měřeny různobarevné skladby zkušebních vzorků, textilie s povrchovou úpravou a textilie materiálového složení nomex.

Různobarevné zkušební vzorky byly vždy ve dvou vrstvách. Vrchní vrstvou byla textilie černé, nebo bílé barvy a spodní textilií postupně tvořili všechny odstíny šedé škály barev znázorněné v kapitole 3.3.2. Měření probíhalo tedy na 14-ti typech dvouvrstevných skladeb. U každé z nich byly provedeny tři měření a průměrné hodnoty časů a teplot jsou zaneseny do tabulek a grafů. Statistické zpracování naměřených dat (směrodatná odchylka, rozptyl, variační koeficient, 95% interval spolehlivosti) je součástí tabulek v kapitole 4.3. V tabulkách a grafech jsou dvouvrstvé skladby značeny kombinací čísel, např. označení 7/1 představuje skladbu černá/bílá, kdy textilie černé barvy je nahoře, kdežto 1/7 je skladba bílá/černá, v tomto případě je nahoře textilie bílé barvy apod.

U zkušebních vzorků s povrchovou úpravou a materiálu para-aramid se zátěrem PU/Al (viz kapitola 3.3.3, bod b) byly provedeny tři měření. Tato získaná data byla statisticky vyhodnocena a výsledky jsou uvedeny v kapitole 4.4 a příloze 5.

Výsledné hodnoty indexu přestupu sálavého tepla, u 11-ti druhů zkušebních vzorků materiálového složení nomex, byly statisticky zpracovány ze tří měření a jsou uvedeny v kapitole 4.5 a příloze 6.

V případě měření navržených sendvičů bylo postupováno jako v předešlém textu s tím rozdílem, že před každým měřením byla provedena kalibrace zdroje sálání, jak je uvedeno v kapitole 3.2.3 bod - Další použití přístroje.

3.4.4. Stanovení optimálního sendviče na základě výpočtu váhových kritérií

Pro výběr optimálního výrobku, u něž není účelová funkce jediná, ale je jich více, je nutné použít vhodné postupy stanovení kritérií hodnocení. Jedním z nich může být vícekritériální rozhodování.

Nejprve se stanoví váhová kritéria a přidělí se jim váha, což zajistí, že některá kritéria mohou být důležitější než ta ostatní. Důležité pravidlo pro volbu vah: Váhy vždy volíme tak, aby součet vah přes všechna kritéria dával číslo 1, tedy 100 %. Pokud tedy váhy pro i -té kritérium označíme symbolem v_i , pro $i = 1; \dots, k$, kde k je počet kritérií, pak váhy volíme tak aby $\sum_{i=1}^k v_i = 1, v_i \geq 0$. Dalším pravidlem je, že čím důležitější je kritérium, tím větší váhu musíme kritériu přidělit. Váhy jednotlivých kritérií byly stanoveny metodou pořadí.

Nejprve byla kritéria seřazena dle pořadí od nejdůležitějšího po nejméně důležité. Bylo stanoveno k kritérií, nejdůležitější kritérium bylo ohodnoceno k body ($b_i = k$), druhé $k - 1$ body ($b_i = k-1$), atd. Poslední kritérium nejméně důležité bylo ohodnoceno jedním bodem ($b_i = 1$). [44]

Při návrhu optimálního sendviče hasičské zásahové rukavice byla stanovena tato tři kritéria: celková cena, tloušťka a index přestupu sálavého tepla (viz tabulka 4).

Váha jednotlivých kritérií byla počítána podle vzorce:

$$v_i = b_i / \sum_{i=1}^3 b_i \quad (33)$$

Tabulka 4 - Váhy kritérií, kdy $k = 3$

Kritérium	i	pořadí	b_i	Váha kritérií v_i
Index přestupu sálavého tepla	1	1	3	0,33
Tloušťka	2	3	1	0,17
Cena	3	2	2	0,50
Součet	-	-	6	1

Jednotlivé sendviče byly na základě měření (tloušťka a index přestupu sálavého tepla) a poskytnutých informací (ceny materiálů) zařazeny dle příslušného kritéria do jedné ze šesti kategorií a bylo jim přiděleno bodové ohodnocení. Tato bodová hodnota je značena písmenem d a nabývá hodnot od 1 do 6, kdy 1 vyjadřuje nejhorší (nejdražší) kategorii a 6 nejlepší (nejlevnější) (viz tabulka 5).

Tabulka 5 - Bodové hodnocení kategorií jednotlivých kritérií

Kategorie kritéria index přestupu sálavého tepla [s]	Body d_1	Cenové kategorie	Body d_2	Kategorie - tloušťka [mm]	Body d_3
20 -25	1	1	1	do 3,5	6
25,1 – 32	2	2	2	3,6 – 4,5	5
32,1 – 39	3	3	3	4,6 – 5,5	4
39,1 – 46	4	4	4	5,6 – 6,5	3
46,1 – 53,1	5	5	5	6,6 – 7,5	2
53,1 a více	6	6	6	7,6 a více	1

Na závěr byl proveden u každého sendviče součin přiděleného d s váhou příslušného kritéria u jednotlivých kritérií a konečný součet těchto výpočtů určil rozhodující hodnotu pro výběr optimálního sendviče. Čím větší je tato výsledná hodnota značena op , tím vhodnější je zvolený sendvič vzhledem ke zvoleným kritériím. Výsledná hodnota byla počítána dle vztahu:

$$op = d_1 \cdot v_1 + d_2 \cdot v_2 + d_3 \cdot v_3 \quad (34)$$

Ceny jednotlivých materiálů byly k dispozici, ale nemohou být vzhledem ke konkurenci uveřejněny, proto jsou vyjádřeny pomocí šesti kategorií.

4. Výsledky

V této kapitole jsou uvedeny výsledky experimentálních měření tříděné do několika podkapitol.

4.1. Výsledné hodnoty termofyzikálních parametrů textilií získané na přístroji Alambeta

V následujících tabulkách jsou uvedeny průměrné hodnoty termofyzikálních parametrů statisticky získané z pěti měření na přístroji Alambeta a dopočítaný parametr zaplnění textilií μ .

Zaplnění bylo počítáno podle vzorce:

$$\mu = \frac{\rho \left[\text{kg} / \text{m}^3 \right]}{\rho_c \left[\text{kg} / \text{m}^3 \right]} \cdot 100 \quad [\%] \quad (35)$$

kde ρ měrná hmotnost vláken v útvaru,

ρ_c měrná hmotnost textilie.

Statistické zpracování získaných hodnot měřením je součástí přílohy 3.

Výsledné hodnoty v následujících tabulkách jsou seřazeny dle měřeného parametru – měrná tepelná vodivost. Jelikož se hasičské zásahové rukavice vyrábí v sendviči, jsou pro názornost jednotlivé vrstvy sendviče rozděleny do tabulek a jsou barevně odlišeny.

Tabulka 6 - Barevné označení vrstev sendviče

1. vrstva - vrchní vrstva
2. vrstva – mezivrstva
3. vrstva – membrána
4. vrstva – podšívka

Tabulka 7 - Hodnoty měřené na přístroji Alambeta u textilií vhodných jako 1. vrstva hasičské zásahové rukavice

<i>Materiál určený pro vrchní vrstvu zásahové rukavice</i>	<i>Měrná tepelná vodivost $\bar{\lambda}$ [W.m⁻¹.K⁻¹]</i>	<i>Plošný odpor vedení tepla \bar{r} [K.m².W⁻¹].10⁻³</i>	<i>Tloušťka \bar{h} [mm]</i>	<i>Tepelný tok \bar{q} [W.m²]</i>	<i>Zaplnění μ [%]</i>
Nomex Comfort žlutý	0,043	6,32	0,276	604,8	42,2
Nomex DeltaC červený	0,048	7,44	0,356	625,0	40,0
KERMEL	0,049	7,24	0,354	641,6	44,7
Nomex Comfort černý se zátěrem	0,053	9,42	0,502	585,4	44,8
Nomex III oranžový	0,054	8,32	0,448	640,8	41,5
PBI s SI zátěrem, gold	0,055	6,76	0,372	560,2	50,8
Lícová hovězinová useň 0,9 mm - 1,1 mm	0,056	20,78	1,146	739,4	43,6
Nomex III zelený	0,056	6,22	0,348	693,8	49,4
Nomex Comfort šedý	0,057	7,74	0,438	627	42,5
Nomex s SI zátěrem II.	0,058	8,90	0,520	523,6	39,8
Nomex s SI zátěrem III.	0,058	7,02	0,410	604,2	43,9

Nomex s PU zátěrem I.	0,06	7,08	0,422	535,8	36,2
Nomex diana se zátěrem	0,066	6,74	0,440	694	45,6
PBI Matrix se zátěrem	0,067	5,78	0,388	715,2	52,3
Hovězinová štípenka 0,9 mm - 1,1 mm	0,069	19,16	1,308	655,8	60,1
Para-aramid se zátěrem PU/Al	0,071	5,70	0,406	957,6	39,0
Nomex DeltaC červený se zátěrem	0,072	5,36	0,386	733,4	68,2
Pletenina Nylon/aramid se zátěrem	0,073	17,02	1,240	709,2	39,3

Z výsledků uvedených v tabulce 7 lze říci, že vzhledem k nejnižší měrné tepelné vodivosti je nejvhodnější použít materiál Nomex Comfort žlutý, Nomex DeltaC červený, Kermel a dále.

Tabulka 8 - Hodnoty měřené na přístroji Alambeta u textilií vhodných jako 2. vrstva hasičské zásahové rukavice

<i>Materiál vhodný pro 2. vrstvu zásahové rukavice</i>	<i>Měrná tepelná vodivost $\bar{\lambda}$ [W.m⁻¹.K⁻¹]</i>	<i>Plošný odpor vedení tepla \bar{r} [K.m².W⁻¹] .10⁻³</i>	<i>Tloušťka \bar{h} [mm]</i>	<i>Tepelný tok \bar{q} [W.m²]</i>	<i>Zaplnění μ [%]</i>
NT nomex/kevlar	0,033	37,06	1,224	177,4	3,9
recyklovaná aramidová NT 61,2 g/m²	0,036	31,40	1,148	203,4	3,8
recyklovaná aramidová NT 93,04 g/m²	0,038	45,36	1,728	189,4	3,8
NT 50 % aramid 50 % ba	0,044	57,30	2,510	252,8	5,6
NT 100 % kevlar	0,044	37,20	1,622	207,6	5,1

Průměrná hodnota měrné tepelné vodivosti je u materiálů vhodných jako 2. vrstva hasičské zásahové rukavice téměř shodná. Přesto nejnížší měrná tepelná vodivost byla u materiálu NT nomex/kevlar. Např. materiál NT 50 % aramid 50 % ba dosahoval nejvyššího plošného odporu vedení tepla a to převážně díky závislosti odporu na tloušťce materiálu. Snahou je dosáhnout co nejtenčí skladby s co největší účinností proti sálavému teplu, takže tento materiál by nebyl vhodným.

Tabulka 9 - Hodnoty měřené na přístroji Alambeta u textilií vhodných jako 3. vrstva hasičské zásahové rukavice

<i>Materiál vhodný pro 3. vrstvu zásahové rukavice-membrána</i>	<i>Měrná tepelná vodivost $\bar{\lambda} [W.m^{-1}.K^{-1}]$</i>	<i>Plošný odpor vedení tepla $\bar{r} [K.m^2.W^{-1}] .10^{-3}$</i>	<i>Tloušťka $\bar{h} [mm]$</i>	<i>Tepelný tok $\bar{q} [W.m^2]$</i>	<i>Zaplnění $\mu [\%]$</i>
PU – FR	0,008	1,58	0,010	918,2	-
PTFE/PU – FR	0,029	3,50	0,100	764,5	60,6
Membrána opatřená výstupky	0,038	41,06	1,548	413	7,7

Z uvedených výsledků v předchozí tabulce můžeme konstatovat, že vzhledem k nejnížší tepelné vodivosti a tloušťce, je nejlepší PU membrána s nehořlavou úpravou. Lze také upozornit na plošný odpor vedení tepla u materiálu membrána opatřená výstupky. Tato hodnota však je způsobena i tloušťkou materiálu, která je z uvedených membrán nejvyšší.

Tabulka 10 - Hodnoty měřené na přístroji Alambeta u textilií vhodných jako 4. vrstva hasičské zásahové rukavice

<i>Materiál vhodný pro 4. vrstvu zásahové rukavice - podšívka</i>	<i>Měrná tepelná vodivost $\bar{\lambda} [W.m^{-1}.K^{-1}]$</i>	<i>Plošný odpor vedení tepla $\bar{r} [K.m^2.W^{-1}] .10^{-3}$</i>	<i>Tloušťka $\bar{h} [mm]$</i>	<i>Tepelný tok $\bar{q} [W.m^2]$</i>	<i>Zaplnění $\mu [\%]$</i>
Ba + počes – FR	0,048	27,50	1,328	527,2	14,8
Pletenina aramid + počes	0,057	50,22	2,894	252,2	6,9

Modakryl/Ba	0,060	21,92	1,316	402,4	22,7
Kevlar/PL/sklo	0,061	20,02	1,222	356,6	18,2
Kevlarová interlokovaná pletenina	0,061	18,20	1,114	336,6	11,2
Kevlar/Ba/protex – M	0,063	23,78	1,488	287,8	13,5
Para-aramid froté 343,2 g/m²	0,072	30,76	2,202	306,0	10,8
3D aramid podšívka	0,082	42,62	3,494	307,8	14,6
Para-aramid froté 383,6 g/m²	0,083	39,60	3,294	313,8	8,0

Pro vrstvu nejbližší k pokožce je dle nejnižší měrné tepelné vodivosti nejvhodnější materiál bavlněná počesaná pletenina s nehořlavou úpravou a následně materiál aramidová pletenina s počesem. Tento materiál vykazuje také vysoký plošný odpor vedení tepla, avšak jeho tloušťka je až dvojnásobně vyšší než u bavlněné počesané pleteniny s nehořlavou úpravou. Bavlna má výborné omakové vlastnosti a tak se zdá nejvhodnějším materiálem pro tuto vrstvu hasičské zásahové rukavice.

Tabulka 11 - Další materiály proměřené na přístroji Alambeta

<i>Materiál</i>	<i>Měrná tepelná vodivost $\bar{\lambda} [W.m^{-1}.K^{-1}]$</i>	<i>Plošný odpor vedení tepla $\bar{r} [K.m^2.W^{-1}] .10^{-3}$</i>	<i>Tloušťka $\bar{h} [mm]$</i>	<i>Tepelný tok $\bar{q} [W.m^2]$</i>	<i>Zaplnění $\mu [\%]$</i>
PU pěna	0,041	116,20	4,782	203,6	2,4
3D pletenina PL	0,057	55,22	3,136	381,0	7,8
Ba tkanina	0,057	5,04	0,286	668,4	35,6

Uvedené materiály v tabulce byly proměřeny z důvodu toho, že se buď ve skladbě hasičských zásahových rukavic částečně používají, nebo zatím nikoli. Ba plátno bylo měřeno, protože bylo součástí dalších experimentálních měření.

Shrnutí výsledků:

Z předchozích výsledků lze sestavit vhodnou skladbu hasičské zásahové rukavice vzhledem k nejnižší měrné tepelné vodivosti a to následující:

1. vrstva – Nomex Comfort žlutý,
2. vrstva – NT nomex/kevlar,
3. vrstva – Polyuretanová membrána s nehořlavou úpravou,
4. vrstva – bavlněná počesaná pletenina s nehořlavou úpravou.

Tloušťka této skladby by činila 2,838 mm. Tato skladba bude podrobena zkoušení v rámci kapitoly 4.6.

Z výsledků měření lze říci, že se zcela nepotvrdilo tvrzení z kapitoly 2.3.2, bod 2, že s klesajícím zaplněním μ klesá měrná tepelná vodivost λ a roste plošný odpor vedení tepla R .

4.2. Výsledky vlivu emisivity na přestup tepla

Výsledky z šesti měření 14-ti různých dvouvrstvých skladeb za použití přístroje a dvou typů měřících zařízení (viz kapitola 3.2.2) v průběhu času jsou zaneseny do následujících tabulek. V grafech, které jsou uvedeny níže, je znázorněn tepelný nárůst u dvouvrstvých skladeb během měření termočlánekem na rubní straně zkušebního vzorku. Z výsledků měření je zřejmý tepelný nárůst v průběhu času a od 9. minuty času nastává v mnoha případech ustálení této teploty. Z těchto hodnot byly provedeny statistické výpočty a vypočtené průměrné hodnoty ustálených teplot byly zaneseny do grafů.

Metody měření (měřící zařízení) jsou v grafech znázorněny následujícími symboly a zkratkami:

IR infračervený teploměr E sun.

TC univerzální měřící přístroj Omega termočlánek Supermeter TrueRMS HHM 290

IR I infračervený teploměr (Omega Supermeter TrueRMS HHM 290)

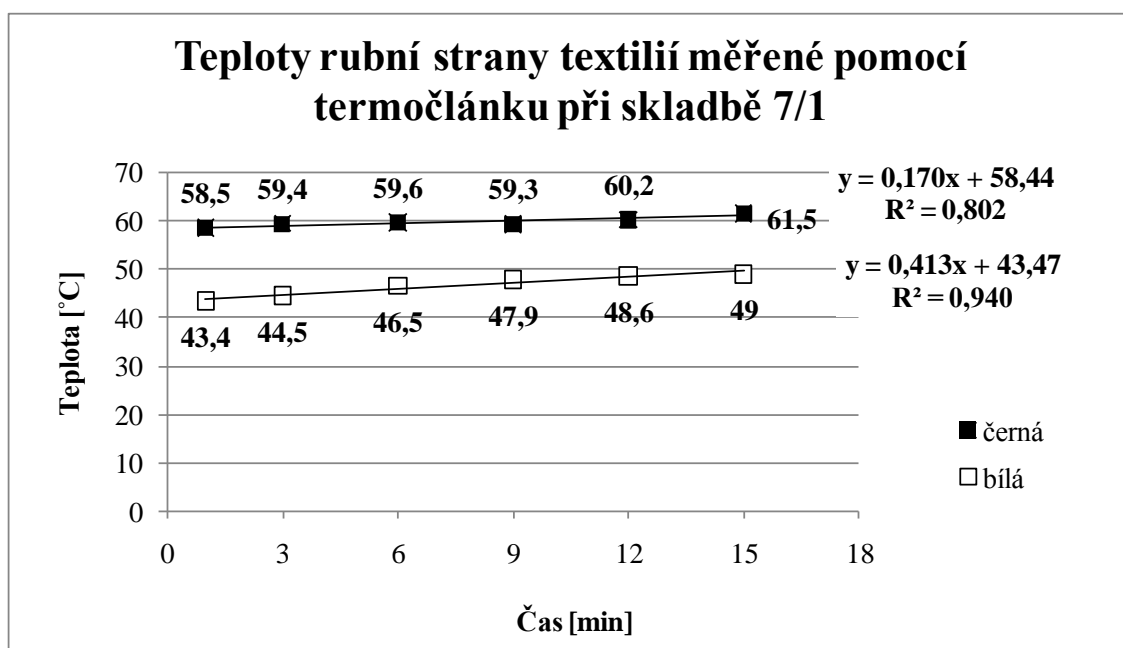
TC líc měření teploty pomocí termočlánu na lící straně zkušebního vzorku

TC rub měření teploty pomocí termočlánu na rubní straně zkušebního vzorku

Jednotlivé barevné odstíny zkušebních vzorků (vrstev) jsou značeny dle kapitoly 3.3.2.

Tabulka 12 - Hodnoty teplot měřené různými zařízeními při skladbě 7/1

	Vrchní vrstva / odstín 7				Spodní vrstva / odstín 1			
<i>t [min]</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>
1	64,90	59,00	55,60	58,50	48,90	50,00	50,90	43,40
3	64,70	58,00	53,80	59,40	49,00	50,00	52,10	44,50
6	64,20	63,00	54,80	59,60	49,00	51,00	52,60	46,50
9	64,30	62,00	53,20	59,30	48,90	50,00	53,50	47,90
12	64,80	62,00	54,70	60,20	49,30	52,00	54,20	48,60
15	66,50	62,00	55,00	61,50	50,20	51,00	55,90	49,00

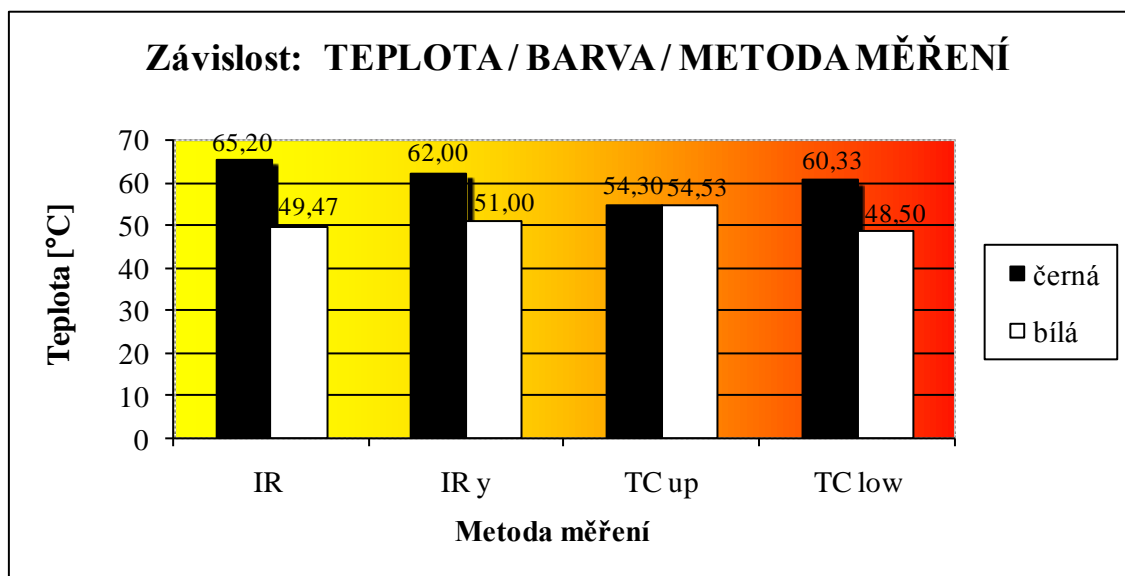


Graf 1 - Nárůst teploty v průběhu času u skladby 7/1

Z grafu 1 je zřejmé, že v 15. minutě měření je teplota černé textilie 61, 5 °C a teplota bílé textilie 49 °C. Získaná závislost byla proložena regresní funkcí a doplněna o korelační koeficient. Lze říci, že průběh nárůstu teploty mezi 1. a 15. minutou je přibližně lineární. Dynamický nárůst teploty u textilie černé barvy je menší než u textilie bílé barvy a to je zřejmě způsobeno tím, že černá textilie předává teplo bílé textilií prostřednictvím vzduchové mezery, kde dochází k proudění tepla.

Tabulka 13 - Statistické zpracování naměřených ustálených teplotních hodnot skladby 7/1

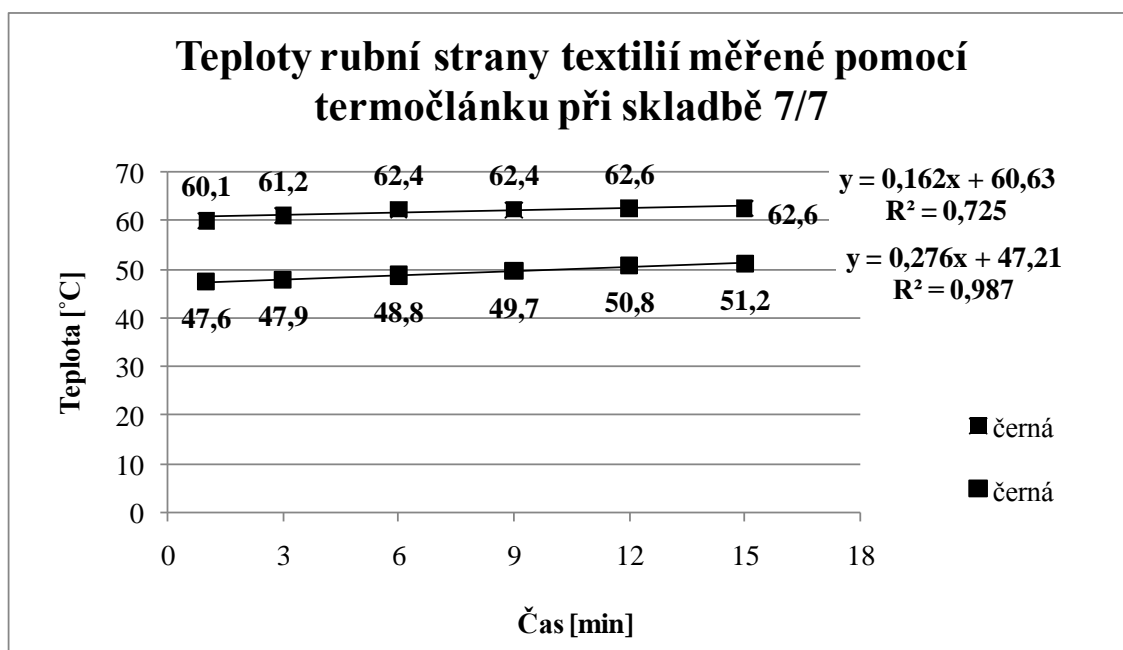
Teplota [°C]	Vrchní vrstva / odstín 7				Spodní vrstva / odstín 1			
	IR	IR I	TC líc	TC rub	IR	IR I	TC líc	TC rub
\bar{T}	65,20	62,00	54,30	60,33	49,47	51,00	54,53	48,50
s	0,94	0,00	0,79	0,90	0,54	0,82	1,01	0,45
s^2	0,88	0,00	0,58	0,81	0,29	0,67	1,02	0,20
v	1,44	0,00	1,45	1,50	1,10	1,60	1,85	0,94
95% IS	± 2,34	0,00	± 1,95	± 2,24	± 1,35	± 2,02	± 2,50	± 1,13



Graf 2 - Grafické znázornění průměrných teplotních hodnot skladby 7/1

Tabulka 14 - Hodnoty teplot měřené různými zařízeními při skladbě 7/7

t [min]	Vrchní vrstva / odstín 7				Spodní vrstva / odstín 7			
	IR	IR I	TC líc	TC rub	IR	IR I	TC líc	TC rub
1	66,20	59,00	54,20	60,10	52,10	50,00	52,20	47,60
3	67,30	60,00	54,80	61,20	53,50	50,00	52,60	47,90
6	67,70	61,00	56,60	62,40	55,00	52,00	53,20	48,80
9	67,00	61,00	56,80	62,40	54,50	51,00	54,00	49,70
12	67,70	61,00	57,20	62,60	54,60	53,00	54,20	50,80
15	66,80	61,00	57,30	62,60	54,60	52,00	54,40	51,20

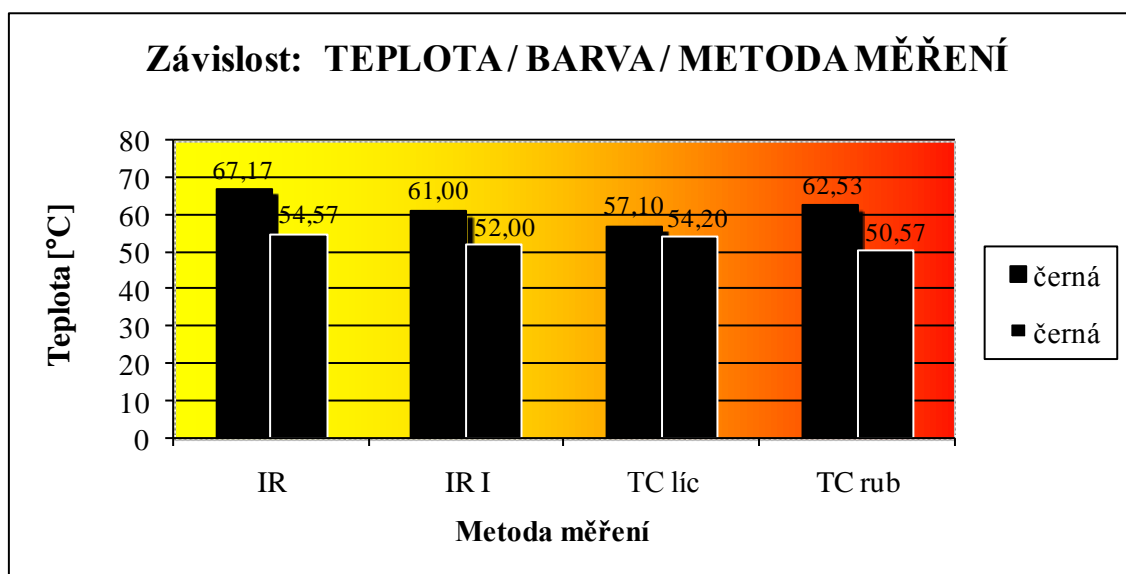


Graf 3 - Nárůst teploty v průběhu času u skladby 7/7

Z grafu 3 je zřejmé, že v 15. minutě měření je teplota vrchní černé textilie 62,6 °C a teplota spodní černé textilie 51,2 °C. Získaná závislost byla proložena regresní funkcí a doplněna o korelační koeficient. Lze říci, že průběh nárůstu teploty mezi 1. a 15. minutou je přibližně lineární.

Tabulka 15 - Statistické zpracování naměřených ustálených teplotních hodnot skladby 7/7

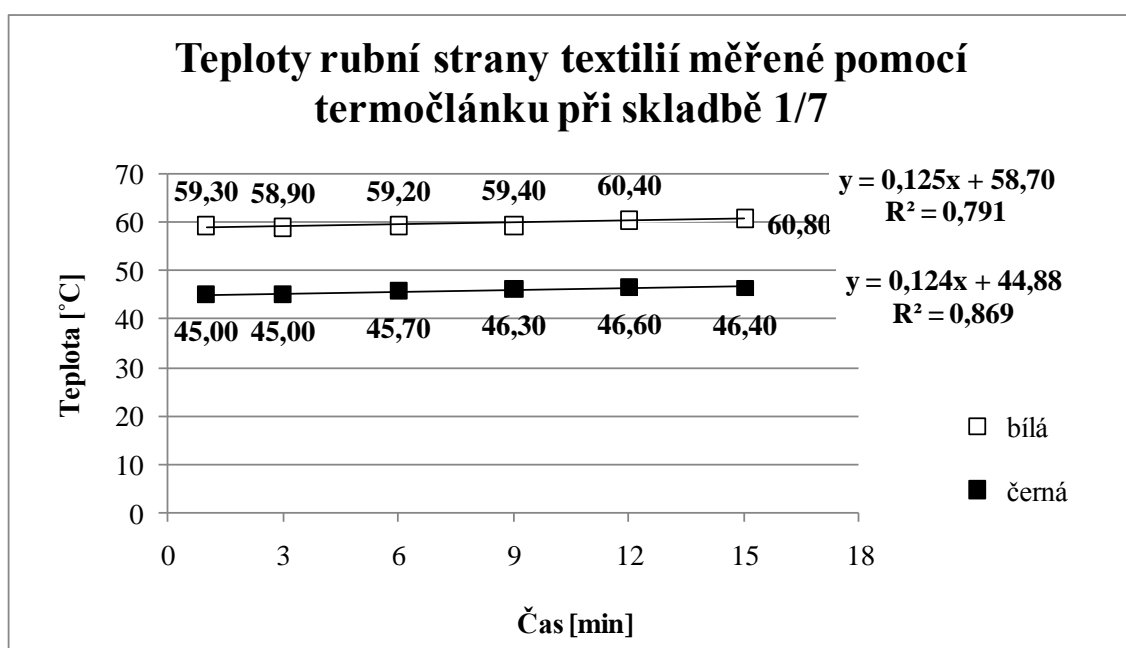
Teplota [°C]	Vrchní vrstva / odstín 7				Spodní vrstva / odstín 7			
	IR	IR I	TC líc	TC rub	IR	IR I	TC líc	TC rub
\bar{T}	67,17	61,00	57,10	62,53	54,57	52,00	54,20	50,57
s	0,39	0,00	0,22	0,09	0,05	0,82	0,16	0,63
s^2	0,15	0,00	0,05	0,01	0,0025	0,67	0,03	0,40
v [%]	0,57	0,00	0,38	0,15	0,09	1,57	0,30	1,25
95% IS	± 0,96	± 0	± 0,55	± 0,22	± 0,12	± 2,05	± 0,39	± 1,56



Graf 4 - Grafické znázornění průměrných teplotních hodnot

Tabulka 16 - Hodnoty teplot měřené různými zařízeními při skladbě 1/7

<i>t [min]</i>	<i>Vrchní vrstva / odstín 1</i>				<i>Spodní vrstva / odstín 7</i>			
	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>
1	64,20	60,00	46,40	59,30	45,30	47,00	50,30	45,00
3	66,50	63,00	46,70	58,90	46,40	48,00	50,30	45,00
6	65,90	61,00	49,60	59,20	46,40	49,00	51,90	45,70
9	64,60	63,00	50,70	59,40	46,30	48,00	52,10	46,30
12	66,00	63,00	51,30	60,40	46,80	49,00	51,80	46,60
15	64,60	62,00	52,00	60,80	46,20	49,00	52,10	46,40

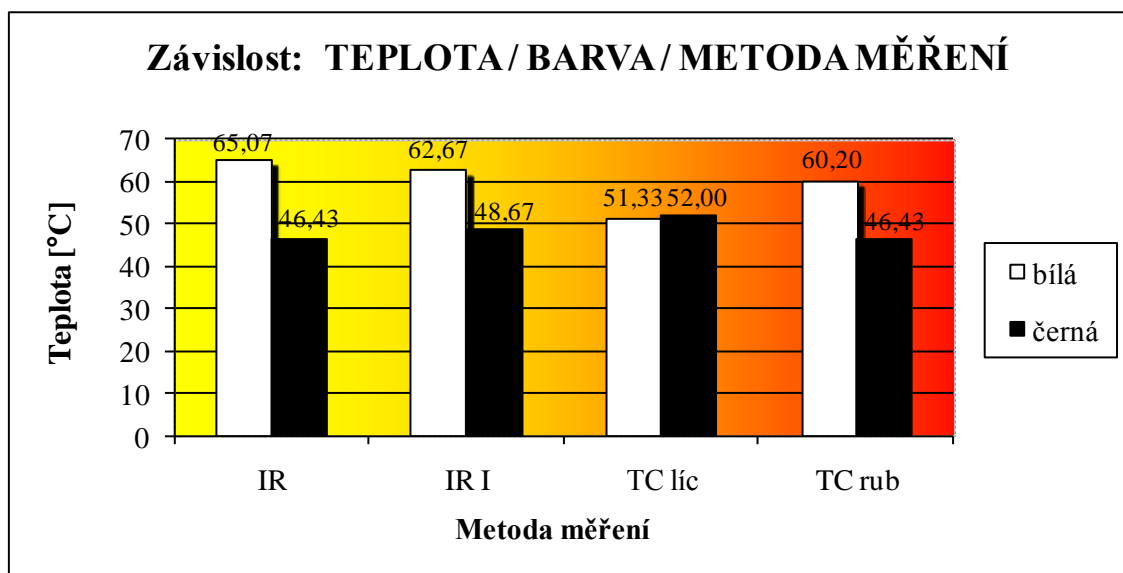


Graf 5 - Nárůst teploty v průběhu času u skladby 1/7

Z grafu 5 je zřejmé, že v 15. minutě měření je teplota vrchní bílé textilie 60,8 °C a teplota spodní černé textilie 46,4 °C. Získaná závislost byla proložena regresní funkcí a doplněna o korelační koeficient. Lze říci, že průběh nárůstu teploty mezi 1. a 15. minutou je přibližně lineární.

Tabulka 17 - Statistické zpracování naměřených ustálených teplotních hodnot skladby 1/7

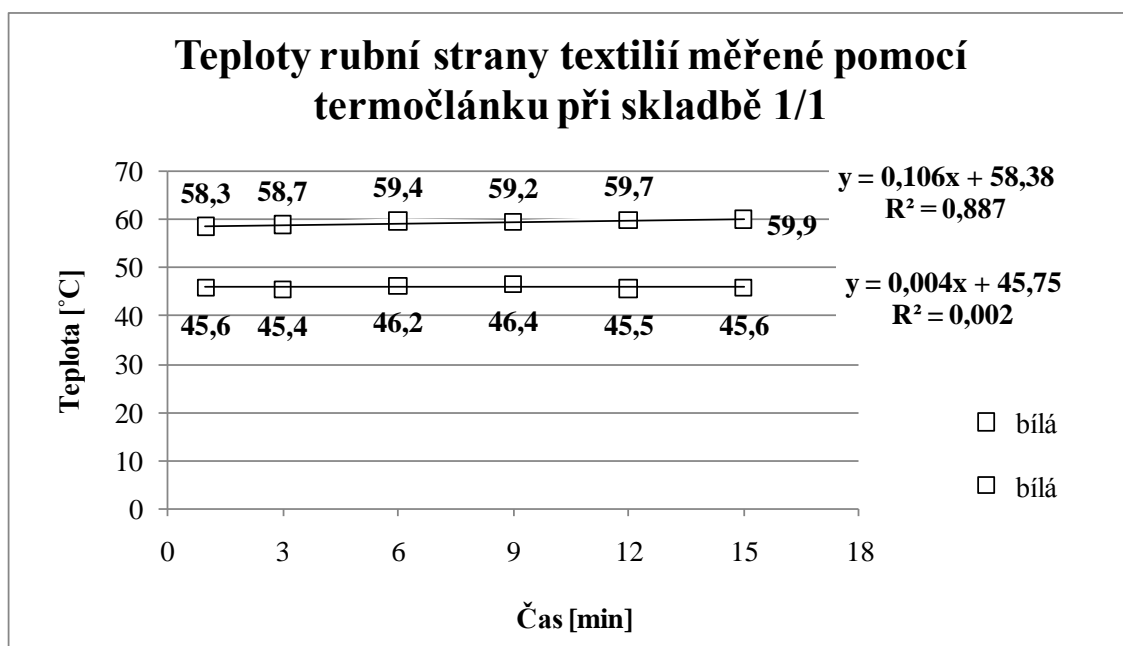
Teplota [°C]	Vrchní vrstva / odstín 1				Spodní vrstva / odstín 7			
	IR	IR I	TC líc	TC rub	IR	IR I	TC líc	TC rub
\bar{T}	65,07	62,67	51,33	60,20	46,43	48,67	52,00	46,43
s	0,66	0,47	0,53	0,59	0,26	0,47	0,14	0,12
s^2	0,44	0,22	0,28	0,35	0,07	0,22	0,02	0,01
v [%]	1,01	0,75	1,03	0,98	0,57	0,97	0,27	0,27
95% IS	± 1,64	± 1,17	± 1,32	± 1,46	± 0,64	± 1,17	± 0,35	± 0,30



Graf 6 - Grafické znázornění průměrných teplotních hodnot

Tabulka 18 - Hodnoty teplot měřené různými zařízeními při skladbě 1/1

t [min]	Horní vrstva / odstín 1				Dolní vrstva / odstín 1			
	IR	IR I	TC líc	TC rub	IR	IR I	TC líc	TC rub
1	65,00	58,00	49,20	58,30	48,80	47,00	47,20	45,60
3	66,20	61,00	50,00	58,70	49,10	48,00	47,40	45,40
6	67,80	61,00	50,20	59,40	50,90	49,00	48,90	46,20
9	67,20	60,00	50,40	59,20	49,80	49,00	50,10	46,40
12	67,80	61,00	50,40	59,70	51,70	50,00	49,20	45,50
15	65,10	60,00	50,80	59,90	49,10	49,00	50,40	45,60

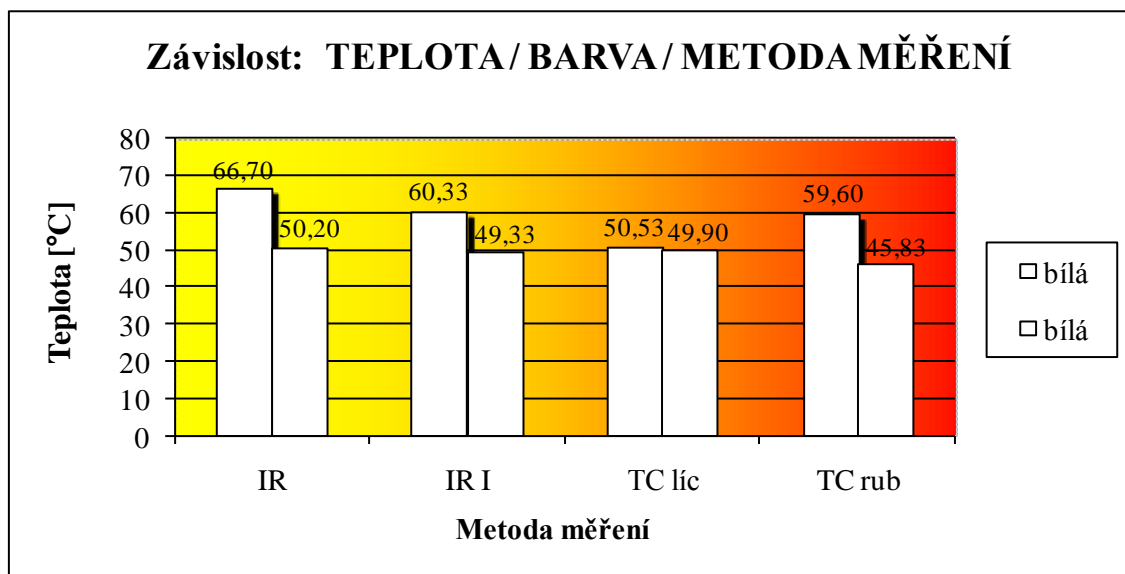


Graf 7 - Nárůst teploty v průběhu času u skladby 1/1

Z grafu 7 je zřejmé, že v 15. minutě měření je teplota vrchní bílé textilie 59,9 °C a teplota spodní bílé textilie 45,6 °C. Získaná závislost byla proložena regresní funkcí a doplněna o korelační koeficient. Lze říci, že průběh nárůstu teploty mezi 1. a 15. minutou je přibližně lineární.

Tabulka 19 - Statistické zpracování naměřených ustálených teplotních hodnot skladby 1/1

Teplota [°C]	Horní vrstva / odstín 1				Dolní vrstva / odstín 1			
	IR	IR I	TC líc	TC rub	IR	IR I	TC líc	TC rub
\bar{T} [°C]	66,70	60,33	50,53	59,60	50,20	49,33	49,90	45,83
S	1,16	0,47	0,19	0,29	1,10	0,47	0,51	0,40
s^2	1,35	0,22	0,04	0,08	1,21	0,22	0,26	0,16
v [%]	1,74	0,78	0,37	0,49	2,19	0,96	1,02	0,88
95% IS	± 2,88	± 1,17	± 0,47	± 0,72	± 2,73	± 1,17	± 1,27	± 0,99



Graf 8 - Grafické znázornění průměrných teplotních hodnot

Příloha 2 obsahuje další tabulky a grafy s výsledky měření různých barevných kombinací skladeb.

Shrnutí výsledků:

Průměrné hodnoty teplot zobrazené v předchozích grafech (2, 4, 6, 8) informují o tom, že je významný rozdíl v měření teplot povrchu textilií různými měřicími zařízeními až o 6 °C vyšší u *IR* než u *IR I*, což svědčí o důležitosti použitých měřicích zařízení. Teplota měřená pomocí infračerveného teploměru je vždy vyšší než teplota měřená pomocí termočlánu. K dalšímu zobrazení byly tedy vybrány hodnoty měřené pomocí *TC rub*. Důvodem byla skutečnost, že měření pomocí infračerveného teploměru může být ovlivněno sáláním tepla od zdroje.

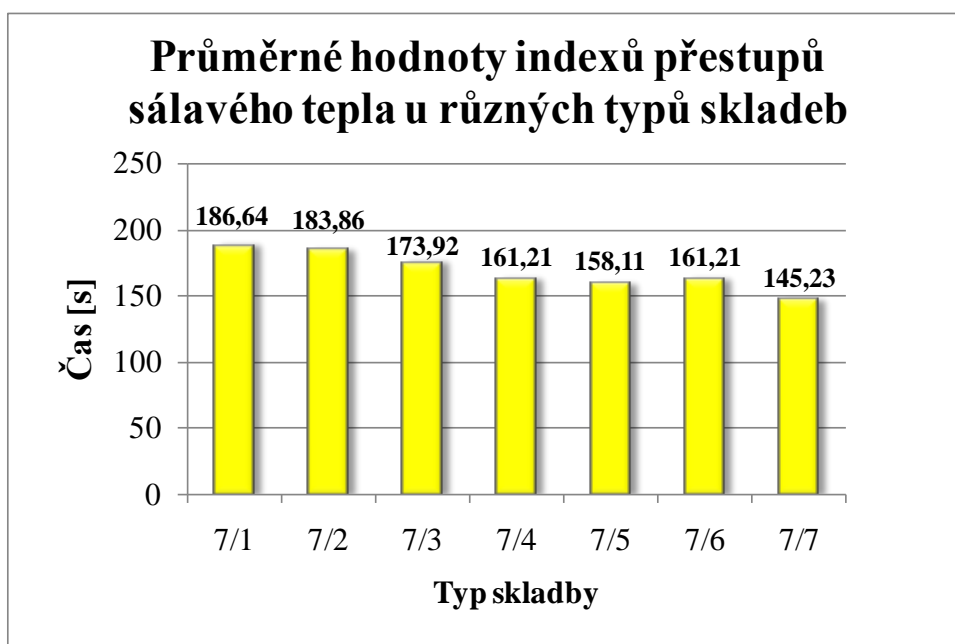
Z průměrných hodnot výsledků měření termočlánekem *TC rub* lze říci, že je významný rozdíl teplot rubní strany textilií u různobarevných dvouvrstevných skladeb. V případě skladby 7/7 je tato teplota 50,57 °C a je vyšší o 2,07 °C než u skladby 7/1. Rozdíl teplot u skladeb 7/7 a 1/1 činil až 4,74 °C. Z výsledků měření je zřejmé, že emisivita (barva) textilie má významný vliv na přestup tepla textiliemi. Pokud použijeme textilií černé barvy pro vrchní vrstvu skladby, teplota na rubní straně skladby bude vždy vyšší než v případě bílé vrchní textilie. Při návrhu skladby hasičské zásahové rukavice by měl být brát zřetel na tuto skutečnost.

4.3. Výsledky stanovení indexu přestupu tepla u různobarevných textilních skladeb

Index sálavého přestupu tepla t byl zjišťován na přístroji uvedeném v kapitole 3.2.3. Byly provedeny vždy tři měření u 14-ti typů dvouvrstvých skladeb zkušebních vzorků. Výsledky měření byly statisticky zpracovány a jsou uvedeny v následujících tabulkách. Průměrné hodnoty z naměřených dat jsou zaneseny do grafů. V tabulkách a grafech jsou dvouvrstvé skladby značeny kombinací čísel, např. označení 7/1 představuje skladbu černá/bílá, kdy textilie bílé barvy je vespod, kdežto 1/7 je skladba bílá/černá, v tomto případě je textilie bílé barvy nahoře (viz kapitola 3.3.3 bod a).

Tabulka 20 - Statistické zpracování naměřených hodnot teplot a indexů přestupu sálavého tepla u různých typů dvouvrstvých skladeb

Typ skladby	Průměrné hodnoty		Směrodatná odchylka		Rozptyl		Variační koeficient		95% interval spolehlivosti	
	\bar{T} [°C]	\bar{t} [s]	T [°C]	t [s]	T [°C]	t [s]	T [%]	t [%]	T [°C]	t [s]
7/1	12,06	186,64	0,035	3,38	0,0012	11,43	0,290	1,810	± 0,040	± 3,825
7/2	12,02	183,86	0,014	5,59	0,0002	31,24	0,118	3,040	± 0,016	± 6,324
7/3	12,00	173,92	0,005	5,19	0,00002	26,97	0,039	2,986	± 0,005	± 5,876
7/4	12,04	161,21	0,013	0,13	0,0002	0,02	0,104	0,084	± 0,014	± 0,152
7/5	12,11	158,11	0,102	0,00	0,0104	0,00	0,843	0,000	± 0,116	± 0,000
7/6	12,06	161,21	0,013	5,19	0,0002	26,92	0,103	3,219	± 0,014	± 5,872
7/7	12,04	145,23	0,016	2,53	0,0003	6,39	0,136	1,739	± 0,018	± 2,860

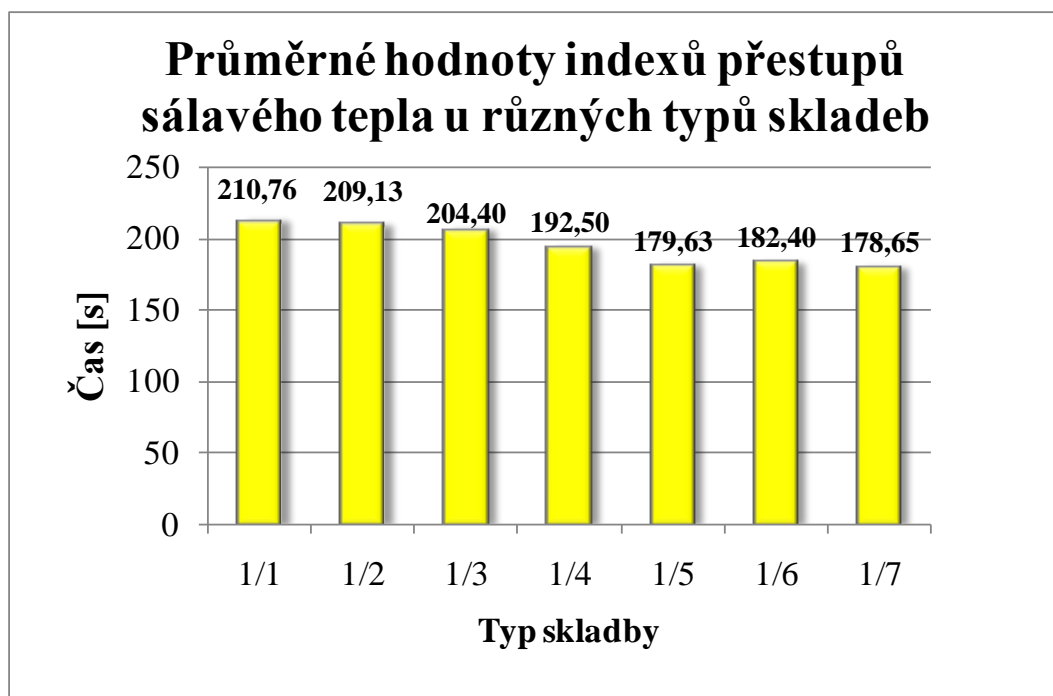


Graf 9 - Průměrné hodnoty indexů přestupů sálavého tepla u různých typů skladeb

Z předchozí tabulky 20 je zřejmé, že nejvyššího indexu přestupu sálavého tepla dosáhla skladba 7/1 a to 186,64 s. Oproti skladbě 7/7, která dosáhla indexu přestupu sálavého tepla 145,23 s, vykazuje skladba 7/1 o 41,41 s tedy o 22 % vyšší odolnost vůči sálavému teplu. Z grafu 9 je zřejmé, že použijeme-li ve skladbě textilie tmavších odstínů barev, index přestupu sálavého tepla se snižuje, tedy teplota na kalorimetru rychleji dosáhne teploty o 12 °C vyšší.

Tabulka 21 - Naměřené a průměrné hodnoty teplot a indexů přestupu sálavého tepla u různých typů dvouvrstvých skladeb

Typ skladby	Průměrné hodnoty		Směrodatná odchylka		Rozptyl		Variační koeficient		95% interval spolehlivosti	
	\bar{T} [°C]	\bar{t} [s]	T [°C]	t [s]	T [°C]	t [s]	T [%]	t [%]	T [°C]	t [s]
1/1	12,01	210,76	0,000	7,85	0,000	61,70	0,000	3,727	± 0,000	± 8,888
1/2	12,01	209,13	0,0047	9,45	0,00002	89,24	0,039	4,517	± 0,005	± 10,690
1/3	12,01	204,40	0,000	4,52	0,000	20,46	0,000	2,213	± 0,000	± 5,119
1/4	12,01	192,50	0,000	3,33	0,000	11,07	0,000	1,728	± 0,000	± 3,765
1/5	12,01	179,63	0,000	2,40	0,000	5,74	0,000	1,334	± 0,000	± 2,712
1/6	12,00	182,40	0,0047	8,65	0,00002	74,83	0,039	4,743	± 0,005	± 9,789
1/7	12,01	178,65	0,000	1,60	0,000	2,55	0,000	0,894	± 0,000	± 1,806



Graf 10 - Průměrné hodnoty indexů přestupů sálavého tepla u různých typů skladeb

Tabulka 21 informuje o tom, že skladba 1/1 dosahuje vyššího indexu přestupu tepla než skladby s použitím textilií různých odstínů šedi ve spodní vrstvě a to 210,76 s. Skladba 1/7 dosáhla indexu přestupu sálavého tepla až o 32,11 s tedy o 15,2 % nižšího oproti skladbě 1/1. Tato skutečnost je také znázorněna v grafu 10.

Shrnutí výsledků:

Z předchozích výsledků indexů přestupu sálavého tepla u různobarevných textilních skladeb je zřejmé, že použitím textilií bílé barvy ve dvouvrstvé skladbě můžeme dosáhnout indexu sálavého tepla až o 65,53 s tedy o 31 % vyššího než je tomu u skladby z textilií černé barvy. Tato skutečnost svědčí o tom, že v případě použití textilií černé barvy se index přestupu sálavého tepla snižuje, což je nepříznivé vzhledem k odolnosti skladby vůči sálavému teplu.

4.4. Výsledky stanovení indexu přestupu tepla u textilií s povrchovou úpravou

Index sálavého přestupu tepla t byl zjišťován na přístroji uvedeném v kapitole 3.2.3 u různých typů zkušebních vzorků s povrchovou úpravou (viz kapitola 3.3.3 bod b). U těchto zkušebních vzorků byly provedeny tři měření. Měření indexu přestupu tepla bylo měřeno také u samostatné bavlněné tkaniny, na kterou byly povrchové úpravy nanášeny. Výsledky jsou uvedeny v následujících tabulkách. Při statistickém zpracování získaných dat bylo procento nástřiku (aplikace) zanedbáno (viz příloha 5).

Tabulka 22 - Naměřené a průměrné hodnoty teplot a indexů přestupu sálavého tepla

<i>Materiál</i>	<i>Vzorek č.</i>	<i>Procento nástřiku (aplikace) [%]</i>	<i>T [°C]</i>	<i>t [s]</i>	<i>\bar{T} [°C]</i>	<i>\bar{t} [s]</i>
Ba	1	-	12,00	104,60	12,01	105,6
	2	-	12,02	105,95		
	3	-	12,00	106,20		
Ba+Cr	1	18,33	12,00	147,03	12,03	145,5
	2	15,56	12,05	142,14		
	3	14,57	12,04	147,35		
Ba+Zi	1	36,85	12,00	119,64	12,03	118,8
	2	49,31	12,08	120,29		
	3	51,83	12,00	116,71		

Ba+Al	1	13,37	12,01	148,00	12,02	150,9
	2	14,7	12,01	154,20		
	3	13,04	12,03	150,61		
Ba+Al páska	1	39,78	11,00	1042,39	10,97	1040,6
	2	41,19	11,00	1039,10		
	3	40,99	10,90	1040,20		
Ba+„stříbrná“ páska	1	54,11	12,02	131,70	12,01	127,4
	2	54,09	12,02	127,79		
	3	54,28	12,00	122,58		
Ba+stříbrná páska + Cr	1	22,15	12,01	470,7	12,00	468,7
	2	23,00	12,00	466,3		
	3	21,80	12,00	469,2		
Ba+stříbrná páska + Zi	1	28,58	12,02	146,4	12,01	145,7
	2	26,50	12,01	148,5		
	3	23,10	12,00	142,1		
Ba+stříbrná páska + Al	1	23,07	12,00	381,1	12,01	383,6
	2	21,91	12,01	390,2		
	3	22,40	12,01	379,6		
Para-aramid se zátěrem PU/Al	1	-	12,00	2026,10	11,99	2023,2
	2		11,99	2023,00		
	3		11,98	2020,41		

Shrnutí výsledků:

Na základě předchozí tabulky lze konstatovat, že povrchová úprava s kovovými částicemi má vliv na index přestupu sálavého tepla. Při nanesení povrchové úpravy pomocí sprejů s kovovými částicemi bylo dosaženo vyššího indexu přestupu sálavého tepla, avšak musíme brát v úvahu možnost nerovnoměrného nanesení nástřiku a nízkou odolnost vůči otěru. Použitím různých typů sprejů pro povrchovou úpravu bylo zjištěno, že spreji s Cr a Al částicemi lze dosáhnout téměř shodných výsledků, jak potvrdilo statistické zpracování dat v příloze 5. Sprej s částicemi Zi vykazoval nejnižší index přestupu sálavého tepla, což bylo zřejmě způsobeno jeho barevným odstínem (matná šedá). Např. v případě použití spreje s částicemi stříbra jsme dosáhly indexu přestupu sálavého tepla až o 30 % vyššího než tomu bylo u čisté bavlny. Při použití povrchové úpravy ve formě hliníkové pásky, se změnil index přestupu sálavého tepla téměř desetinásobně oproti čisté bavlně, tedy odolnost textilie vůči sálavému teplu se výrazně zlepšila. Musíme však upozornit na to, že hliníková páska není odolná vůči mechanickému namáhání, jak je patrné z fotografie v příloze 5, a proto nemůže být využita v praxi. Zkušební vzorek obsahující „stříbrnou“ pásku vykazoval průměrnou

hodnotu indexu přestupu sálavého tepla 127,4 s. Po ještě nanesení aplikace ve formě spreje se tato hodnota zvýšila, v případě spreje s Cr částicemi až o 73 % a u spreje s částicemi Al o 67 %, v případě spreje s Zi částicemi pouze o 12,5 %.

Nejlepších výsledků indexu přestupu sálavého tepla dosahoval materiál para-aramid se zátěrem PU/Al, kdy tato průměrná hodnota činila 2023,2 s.

4.5. Výsledky stanovení indexu přestupu tepla u textilií materiálového složení nomex

K měření indexu sálavého přestupu tepla t u zkušebních vzorků materiálového složení nomex (viz kapitola 3.3.3, bod c) byl použit přístroj uvedený v kapitole 3.2.3. V tabulce 23 jsou uvedeny průměrné hodnoty indexu přestupu sálavého tepla počítané ze tří měření a některé parametry zkoušených materiálů, jako je barva, tloušťka, zaplnění. Další statistická vyhodnocení jsou uvedena v příloze 6.

Tabulka 23 – Zjištěné parametry zkušebních vzorků materiálového složení nomex

<i>Materiál</i>	$\bar{T} [^{\circ}\text{C}]$	$\bar{t} [\text{s}]$	<i>Barva</i>	$\bar{h} [\text{mm}]$	<i>Zaplnění [%]</i>
Nomex DeltaC červený	12,00	118,4	červená	0,356	40
Nomex DeltaC červený + zátěr	12,00	114,9	červená	0,386	68,2
Nomex III oranžový	12,01	110,3	oranžová	0,448	41,5
Nomex diana se zátěrem	12,01	110,0	žlutá	0,440	45,6
Nomex III zelený	12,01	107,8	zelená	0,348	49,4
Nomex Comfort šedý	12,01	105,1	šedá	0,438	42,5
Nomex Comfort žlutý	12,01	102,5	žlutá	0,276	42,2
Nomex + SI zátěr II.	12,02	97,6	tmavě modrá	0,520	39,8
Nomex + SI zátěr III.	12,00	95,9	tmavě modrá	0,410	43,9
Nomex + PU zátěr I.	12,01	92,1	tmavě modrá	0,422	36,2
Nomex Comfort černý+ zátěr	12,00	89,2	černá	0,502	44,8

Shrnutí výsledků:

Z průměrných hodnot indexu přestupu sálavého tepla uvedených v tabulce 23 lze konstatovat, že materiál Nomex DeltaC červený o tloušťce 0,356 mm vykazuje nejvyšší odolnost vůči sálavému teplu z uvedených zkušebních vzorků. S nejnižším indexem přestupu sálavého tepla je zkušební vzorek Nomex Comfort černý + zátěr o tloušťce 0,502 mm. Rozdíl indexu přestupu sálavého tepla u nejlepšího a nejhoršího zkušebního vzorku činil 24,6 %. I přesto, že se zkušební vzorky liší mnoha parametry, lze konstatovat, že výsledky potvrzují vliv emisivity (barvy) na přestup sálavého tepla, který je nejvýraznější.

4.6. Návrh optimální skladby sendviče hasičské zásahové rukavice vzhledem k odolnosti vůči sálavému teplu a cenové náročnosti

Optimální skladba sendviče hasičské zásahové rukavice byla navržena na základě výsledků měření indexu přestupu sálavého tepla a závěrem na základě vícekritériálního rozhodování navržených sendvičů. Index přestupu sálavého tepla u navržených sendvičů byl měřen pomocí přístroje uvedeného v kapitole 3.2.3. Postup měření indexu sálavého tepla je popsán v kapitole 3.4.3.

Zpracování výsledků měření:

Byla provedena tři měření a naměřené hodnoty indexů přestupu sálavého tepla (času potřebného k nárůstu teploty na kalorimetru o 12 °C) byly statisticky zpracovány pomocí výpočtu aritmetického průměru, směrodatné odchylky, rozptylu, variační koeficientu a 95% intervalu spolehlivosti. Byla také uvedena tloušťka měřeného sendviče, neboť tloušťka je významným parametrem, který ovlivňuje úchopovou schopnost vyrobené rukavice.

Kritéria výběru materiálů pro optimální skladbu:

Na základě předcházejících měření byly vybrány nejvhodnější textilní materiály pro sestavení převážně čtyřvrstvého sendviče hasičské zásahové rukavice. Materiály vhodné pro 1. vrstvu hasičské zásahové rukavice byly vybrány na základě výsledků stanovení indexu přestupu sálavého (viz kapitoly 4.4 a 4.5). Materiály vhodné pro další vrstvy hasičské zásahové rukavice byly zvoleny na základě výsledků měření na přístroji Alambeta dle nejnižší měrné tepelné vodivosti (viz kapitola 4.1). Všechny materiály byly vybírány i vzhledem k nejnižší ceně. Ceny jednotlivých materiálů byly k dispozici, ale nemohly být uveřejněny, jak již bylo zmíněno kapitole 3.4.4.

Výběr materiálů pro 1. vrstvu

Vybranými materiály byly: Nomex DeltaC červený, který dosáhl průměrného indexu přestupu sálavého tepla 118,4 s. Dalším materiálem byl materiál Para-aramid se zátěrem PU/Al, jehož index sálavého tepla činil 2023,2 s. Materiál Para-aramid se zátěrem PU/Al byl navržen k měření na základě předcházejících měření materiálů s povrchovou úpravou a ve spolupráci s firmou Holík International byl nalezen na zahraničním trhu.

Výběr materiálů pro vrstvy 2 - 4

Zvoleným materiálem vhodným jako 2. vrstva hasičské zásahové rukavice byl materiál recyklovaná aramidová NT o plošné hmotnosti 60 g/m^2 . Tento materiál byl vybrán ze skupiny materiálů se stejnou funkcí a to vzhledem k nízké měrné tepelné vodivosti ($0,036 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$), nejnižší tloušťce (1,148 mm) i nízké ceně.

Jako třetí vrstva hasičské zásahové rukavice byla zvolena membrána opatřená výstupky, která byla navržena, jako membrána, která se dosud pro zvolené účely nepoužívá. Zbývající dva typy membrán, PU – FR a PTFE/PU – FR byly také zařazeny do navržených sendvičů. PU – FR membrána dosahovala nejnižší měrné tepelné vodivosti ($0,008 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) a tloušťky (0,01 mm). Následně byl zjišťován vliv použití odlišných membrán na přestup sálavého tepla.

Pro vrstvu nejbližší k pokožce byly vybrány dva materiály a to aramidová podšívka s počesem a bavlněná počesaná podšívka s nehořlavou úpravou a to vzhledem k nejnižším měrným tepelným vodivostem, výborným omakovým vlastnostem i nízké cenové náročnosti.

Materiál 3D pletenina z PL byla použita jako 3. vrstva vytvořeného až pětivrstvého sendviče. Tento materiál byl vybrán na základě vysokého plošného odporu vedení tepla ($55,22.10^{-3} \text{ K.m}^2.\text{W}^{-1}$) a nízkého zaplnění (7,8 %).

Na základě výsledků měření na přístroji Alambeta uvedených v kapitole 4.1 byl navržen čtyřvrstvý sendvič s nejnižší měrnou tepelnou vodivostí. U tohoto sendviče (dále značen písmenem F) a dalších 9-ti navržených sendvičů byl zjišťován měřením index přestupu sálavého tepla. Výsledky měření navržených sendvičů jsou uvedeny v tabulce 24. Statistické zpracování těchto výsledků a fotodokumentace sendvičů po zkoušce jsou součástí přílohy 7.

Výsledky měření:

Tabulka 24 - Index přestupu sálavého tepla u navržených skladeb

<i>Textilní skladba</i>		<i>h [mm]</i>	<i>\bar{T} [°C]</i>	<i>\bar{t} [s]</i>
A	Nomex DeltaC červený	7,52	12,01	44,3
	Recyklovaná aramidová NT 60 g/m ²			
	3D pletenina PL			
	Membrána opatřená výstupky			
	Ba s počesem a nehořlavou úpravou			
B	Nomex DeltaC červený	9,08	12,10	48,7
	Recyklovaná aramidová NT 60 g/m ²			
	3D pletenina PL			
	Membrána opatřená výstupky			
	Aramidová pletenina s počesem			
C	Nomex DeltaC červený	5,95	12,07	32,8
	Recyklovaná aramidová NT 60 g/m ²			
	Membrána opatřená výstupky			
	Aramidová pletenina s počesem			
D	Para-aramid se zátěrem PU/Al	6,00	12,01	57,6
	Recyklovaná aramidová NT 60 g/m ²			
	Membrána opatřená výstupky			
	Aramidová pletenina s počesem			
D1	Para-aramid se zátěrem PU/Al	4,46	12,04	53,1
	Recyklovaná aramidová NT 60 g/m ²			
	Membrána PU – FR			
	Aramidová pletenina s počesem			
D2	Para-aramid se zátěrem PU/Al	4,55	12,00	53,6
	Recyklovaná aramidová NT 60 g/m ²			
	Membrána PTFE/PU – FR			
	Aramidová pletenina s počesem			

E	Para-aramid se zátěrem PU/Al	6,02	12,04	56,4
	Recyklovaná aramidová NT 60 g/m ²			
	Membrána opatřená výstupky			
	Ba s počesem a nehořlavou úpravou			
E1	Para-aramid se zátěrem PU/Al	2,86	12,00	51,8
	Recyklovaná aramidová NT 60 g/m ²			
	Membrána PU – FR			
	Ba s počesem a nehořlavou úpravou			
E2	Para-aramid se zátěrem PU/Al	2,95	12,00	52,2
	Recyklovaná aramidová NT 60 g/m ²			
	Membrána s PTFE/PU – FR			
	Ba s počesem a nehořlavou úpravou			
F	Nomex komfort žlutý	2,84	12,10	19,7
	NT nomex/kevlar50 g/m ²			
	PU membrána s nehořlavou úpravou			
	Ba s počesem a nehořlavou úpravou			

Shrnutí výsledků indexu přestupu sálavého tepla:

Sendvič navržený na základě nejnižší měrné tepelné vodivosti označený písmenem F v tabulce 24 ve zkoušce neobstál, neboť jeho průměrný index přestupu sálavého tepla dosahoval hodnoty pod 20 s a to je nevyhovující, jak uvádí norma ČSN EN 659+A1[14].

Z předchozí tabulky je zřejmé, že nejvyššího indexu přestupu sálavého tepla dosáhly sendviče s vrchní vrstvou z para-aramidu se zátěrem PU/Al. Změnou 4. vrstvy – podšívkou u těchto sendvičů nedochází k výrazným změnám výsledků měření. Nejvyššího indexu přestupu sálavého tepla dosáhl sendvič označený písmenem D a to hodnoty 57,6 s. Sendvič označený písmenem E, vykazoval nižší průměrnou hodnotu indexu přestupu sálavého tepla o 1,2 s a menší tloušťku o 1,56 mm oproti sendviči D, ale dle intervalu spolehlivosti v příloze 7 se jejich hodnoty indexu přestupu sálavého tepla překrývají. Oba lze tedy považovat za sendviče s nejvyšším indexem přestupu sálavého tepla.

U sendvičů D a E byl také zjišťován vliv použité membrány na přestup sálavého tepla. Z výsledků je zřejmé, že membrána má vliv na přestup sálavého tepla, kdy nejvyšších hodnot dosáhly sendviče s membránou opatřenou výstupky a to s rozdílem až 4,6 s. Tento typ membrány nelze však zatím z technologického hlediska použít.

Vynikajících výsledků lze dosáhnout také použitím vrstvy 3 D pleteniny, i když z tavitelného materiálu PL. Kdy sendvič B obsahující tuto vrstvu, jako třetí směrem od pokožky, dosáhl výsledku indexu přestupu sálavého tepla téměř o 33 % (o 15,9 s) vyššího než u stejného sendviče C neobsahujícího tuto vrstvu. Je zde zřejmý vliv vzduchové mezery (vzduch plní funkci izolantu), kterou zajistila právě konstrukce 3D pleteniny. Tento materiál však nemůže být použit do sendviče zásahové rukavice v praxi, neboť se taví působením tepla. Dalším nevyhovujícím parametrem sendviče s označením B je jeho velká tloušťka 9,08 mm, která výrazně ovlivňuje úchopovou schopnost vytvořeného rukavicového sendviče. Závěrem lze říci, že pokud vrchní vrstva sendviče má vyšší odrazivost, pak sendviče s touto vrstvou vykazují nejvyšší odolnost vůči sálavému teplu.

Vyhodnocení optimálního sendviče pomocí vícekritériálního rozhodování

Postup získání níže uvedených výsledků je součástí kapitoly 3.4.4. Optimální sendvič byl vyhodnocen v porovnání s nejlepšími stávajícími sendviči (viz tabulka 25). Statistické zpracování těchto dat je součástí přílohy 7.

Tabulka 25 – Index přestupu sálavého tepla u vybraných stávajících sendvičů

<i>Textilní skladba</i>		<i>h [mm]</i>	<i>\bar{T} [°C]</i>	<i>\bar{t} [s]</i>
a	PBI matrix	3,24	12,01	26
	Recyklovaná aramidová NT 100 g/m ²			
	Membrána PU- FR			
	Kevlarová interlokovaná podšívka			
b	Hovězinová štípenka 0,9 – 1,1 mm	3,87	12,00	43,1
	NT nomex/kevlar			
	Membrána PU – FR			
	Bavlněná podšívka			

c	Nomex Tough	3,22	12,01	23,3
	Recyklovaná aramidová NT 100 g/m ²			
	Membrána PU – FR			
	Kevlarová interloková podšívka			
d	Lícová hovězinová useň 0,9 – 1,1 mm	2,27	12,02	31,4
	Membrána PU- FR			
	Kevlarová interloková podšívka			

Z výše uvedené tabulky lze vyčíst, že nejlepšího indexu přestupu sálavého tepla dosáhl stávající čtyřvrstvý sendvič označený písmenem *b*, kdy vrchní vrstva sendviče je tvořena hovězinovou štípenkou.

Tabulka 26 - Výsledky vícekriteriálního rozhodování u navržených i stávajících sendvičů

<i>Typ navrženého sendviče</i>	<i>Výsledná hodnota vícekriteriálního rozhodování op</i>
A	3,66
B	3,66
C	3,17
D	4,01
D1	4,34
D2	4,34
E	4,67
E1	5,17
E2	4,84

<i>Typ stávajícího sendviče</i>	<i>Výsledná hodnota vícekriteriálního rozhodování op</i>
a	3,01
b	4,50
c	2,84
d	3,67

Čím je výsledná hodnota vícekriteriálního rozhodování vyšší tím, je sendvič vhodnějším vzhledem ke stanoveným kritériím (index přestupu sálavého tepla, cena, tloušťka).

Shrnutí výsledků vícekriteriálního rozhodování

Z tabulky 26 lze konstatovat, že sendviče označené písmenem E dosáhly nejvyšších výsledných hodnot i v porovnání se stávajícími sendviči. Jsou tedy navrženy jako optimální sendviče vzhledem k odolnosti vůči sálavému tepla, cenové náročnosti a

tloušťce vytvořeného sendviče. Tyto typy sendvičů jsou tvořeny čtyřmi vrstvami, kdy 1. vrstva je z para-aramidu s PU/Al zátěrem, 2. vrstvou je recyklovaná aramidová NT 60 g/m², 3. vrstvu tvoří membrána a 4. vrstvou je bavlněná podšívka s počesem a nehořlavou úpravou. Při použití membrány PU –FR lze dosáhnout nejlepších výsledků vzhledem ke stanoveným kritériím.

Dalším v pořadí vzhledem ke stanoveným kritériím byl stávající sendvič označený písmenem b, který je tvořen hovězinovou štípenkou, NT nomex/kevlar, membránou PU – FR a podšívkou z bavlny.

Mezi navrženými sendviči dosahovaly také výborných výsledků sendviče označené písmenem D, kde byl rozdíl mezi sendvičem E pouze ve spodní vrstvě – podšívce z aramidu s počesem.

5. Diskuze výsledků

Z výsledků získaných pomocí přístroje Alambeta byla navržena čtyřvrstvá skladba hasičské zásahové rukavice a to vzhledem k nejnižší měrné tepelné vodivosti, jak je uvedeno v kapitole 4.1. Vrchní vrstvu tvořil materiál Nomex Comfort žlutý, mezivrstvu NT nomex/kevlar. Dále následovala PU membrána s nejnižší tepelnou vodivostí a nehořlavou úpravou a spodní vrstva byla tvořena podšívkou z bavlněné pleteniny s počesem a nehořlavou úpravou. Takto vytvořený sendvič byl zkoušen a výsledky jsou popsány v rámci kapitoly 4.6, ale dosažený výsledek indexu přestupu sálavého tepla 19,7 s je nevyhovující podle normy ČSN EN 659+A1. Z tohoto měření je zřejmé, že vrchní vrstva musí být vybrána nejen vzhledem k nejnižší tepelné vodivosti, ale především k nejvyšší odrazivosti, tedy nejnižší emisivitě.

Vliv emisivity byl stanovován a výsledky popsané v kapitole 4.2 ukazují, že barva má významný vliv na přestup tepla u dvouvrstvé skladby tvořené textiliemi shodných parametrů lišících se pouze barevným odstínem a tedy i emisivitou. U dvouvrstevných skladeb byla měřena teplota jednotlivých vrstev pomocí termočlánku a infračerveného teploměru. Z výsledků měření termočlánkem na rubní straně (TC rub) lze říci, že v případě skladby 7/7, tedy černá/černá je teplota o 2,07 °C vyšší než u skladby 7/1 (černá/bílá). Rozdíl teplot u skladeb 7/7 a 1/1 (bílá/bílá) činil až 4,74 °C, tedy teplota v případě skladby z obou černých textilií je o více než 9 % vyšší. Potvrdilo se, že emisivita má významný vliv na přestup sálavého tepla, ale v dnešní době na to není brán zřetel. Již zmíněné dvouvrstvé skladby byly měřeny také pomocí kalorimetru s termočlánkem a z výsledků v kapitole 4.3 lze konstatovat, že při měření indexu přestupu sálavého tepla dosahovala nejlepší výsledků skladba 1/1 a to 210,76 s v porovnání se skladbou 7/7, kde byla dosažena hodnota pouze 186,64 s. Lze tedy znovu potvrdit, že použitím světlejších odstínů použitých materiálů dosáhneme lepších výsledků z hlediska vyšší odolnosti skladby vůči sálavému teplu.

Výsledky uvedené v kapitole 4.4 svědčí o tom, že použitím povrchové úpravy textilií lze docílit vyšší odolnosti vůči sálavému teplu a to díky odrazivosti. V případě použití nástřiků obsahujících kovové částice, bylo dosaženo až o 30 % vyššího indexu přestupu sálavého tepla, a to v případě spreje s příměsí hliníku. Aplikací hliníkové pásky se hodnota indexu zlepšila až desetinásobně na 1040,6 s oproti samostatné podkladové

textilii, avšak Al páska nevykazuje vysoké odolnosti vůči mechanickému namáhání, jak je patrné z fotografie v příloze 5, proto ji nelze doporučit pro praktické použití. V rámci tohoto experimentu byly dále stanoveny odolnosti materiálu para-aramid s PU/Al zátěrem, který vykazoval nejvyšší index přestupu sálavého tepla a to 2023,2 s.

Index přestupu tepla byl také měřen u zkušebních vzorků materiálového složení nomex, kdy tyto zkušební vzorky se lišily převážně barvou, ale také tloušťkou a zaplněním. Z výsledků v kapitole 4.5 vyplývá, že nejvýhodnějším materiálem vzhledem k nejvyššímu indexu přestupu tepla je materiál červené barvy a to Nomex Comfort červený s hodnotou 118,4 s. Naopak nejhoršího výsledku dosáhl materiál Nomex Comfort černý a to 89,2 s. Na základě těchto výsledků se opět potvrdilo, že emisivita má významný vliv na přestup sálavého tepla.

Na základě získaných výsledků byly navrženy skladby sendvičů hasičských zásahových rukavic vzhledem k odolnosti vůči sálavému teplu. Nejlepších výsledků dosahovaly sendviče s vrchní vrstvou z para-aramidu s PU/Al zátěrem, jak je patrné z kapitoly 4.6. Hodnota indexu přestupu sálavého tepla činila až 57 s. Tohoto indexu přestupu sálavého zatím nedosahuje žádný se stávajících sendvičů. Z měření v kapitole 4.6 je také zřejmé, že použití 3D pleteniny výrazně zvýší odolnost sendvičů vůči sálavému teplu, díky konstrukci 3D pleteniny s obsahem vzduchových mezer (vzduch plní funkci izolantu). Sendvič s 3D pleteninou jako 3. vrstvou dosahoval až o 33 % vyššího indexu přestupu sálavého tepla než stejný sendvič bez této vrstvy.

Na závěr bylo provedeno porovnání navržených sendvičů se sendviči stávajícími na základě vícekritériálního rozhodování. Zvolenými váhovými kritérii byl index přestupu sálavého tepla, tloušťka a cena sendviče. Výsledky v tabulce 26 kapitoly 4.6 ukazují, že optimálním sendvičem vzhledem ke zvoleným kritériím, je sendvič označený jako E1, i přestože nedosahoval nejvyššího indexu přestupu sálavého tepla. Tento sendvič je tvořen para-aramidem s PU/Al zátěrem jako první vrstvou sendviče, 2. vrstvou z recyklované aramidové NT 60 g/m², membránou PU – FR a podšívkou z počesané bavlny s nehořlavou úpravou.

Z výsledků tedy vyplývá, že stanovenou hypotézu lze potvrdit, tedy pokud bude vrchní vrstva sendviče vykazovat co nejnižší emisivitu (nejvyšší odrazivost) a další vrstvy co nejnižší tepelnou vodivost a schopnost pojmout co nejvyšší množství vzduchu, lze dosáhnout vyšších odolností vůči sálavému teplu.

6. Závěr

V této diplomové práci byl teoreticky popsán přestup tepla vedením a sáláním. Rešeršní část charakterizuje textilní materiály, které se používají nebo by se mohly používat, pro výrobu hasičských zásahových rukavic. Je zde uvedena skladba čtyřvrstvé hasičské zásahové rukavice, která je tvořena jednotlivými vrstvami s odlišnými vlastnostmi.

V experimentální části byly měřeny termofyzikální vlastnosti na přístroji Alambeta u textilních materiálů vhodných pro výrobu hasičských zásahových rukavic poskytnutých firmou Holík International s.r.o. Termofyzikálními vlastnostmi byli plošný odpor vedení tepla, tepelný tok a měrná tepelná vodivost. Na přístroji Alambeta byla také měřena tloušťka materiálu. Na základě těchto měření byla navržena skladba hasičské zásahové rukavice vzhledem k nejnižší tepelné vodivosti a ta byla podrobena zkoušení dle normy ČSN EN ISO 6942. Výsledek indexu přestupu sálavého tepla byl nevyhovující, což potvrzovalo další vliv emisivity materiálu při výběru vrchní vrstvy (hřbetní části) hasičské zásahové rukavice.

V rámci experimentální části byl zjišťován vliv emisivity na přestup sálavého tepla, kdy se potvrdila teorie o tom, že v případě použití textilie černé barvy se index přestupu sálavého tepla snižuje, tedy dochází k rychlejšímu přestupu sálavého tepla v textilií, oproti textilií bílé barvy.

Dále byl měřen index přestupu sálavého tepla u textilií opatřených povrchovou úpravou, kdy bylo zjištěno, že použitím povrchové úpravy s částicemi kovu a vyšší odrazivosti se index přestupu sálavého tepla výrazně zvyšuje. Materiál navržený a následně nalezený ve spolupráci s firmou Holík International byl experimentálně ověřen a bylo zjištěno, že dosahuje nejlepších výsledků odolnosti vůči sálavému teplu. Jednalo se o materiál para-aramid s PU/Al zátěrem.

Také byly měřeny zkušební vzorky vyrobené z materiálu nomex, které jsou odlišné především barevným odstínem a emisivitou, kdy se potvrdila skutečnost, že materiály světlých odstínů vykazují vyšší odolnost vůči sálavému teplu.

Na základě experimentálního měření byly navrženy sendviče hasičských zásahových rukavic, kdy vrchní vrstva byla vybrána vzhledem k nejvyšší odrazivosti a nejvyššímu naměřenému indexu přestupu sálavého tepla a zbývající vrstvy vzhledem k nejnižší tepelné vodivosti a nejnižší pořizovací ceně.

Bylo také zjištěno, že použití 3D pleteniny výrazně zvyšuje odolnost sendviče hasičské zásahové rukavice vůči sálavému teplu. Distanční (3D) pleteniny se nejčastěji vyrábějí z PL, což není vhodné použít pro výrobu hasičské zásahové rukavice, vzhledem k tavitelnosti PL. Pletenina z aramidových vláken nazývaná 3D byla v rámci kapitoly 4.1 měřena, ale nedosahovala lepších výsledků tepelné vodivosti, zaplnění ani plošného tepelného odporu oproti pletenině 3D z PL. Řešením by bylo vytvořit 3D pleteninu z aramidových vláken se stejnými parametry jako je 3D pletenina z PL a to především s tak nízkým zaplněním.

Na základě vícekritériálního rozhodování výsledky měření ukázaly, že optimální sendvič je tvořený čtyřmi vrstvami. Vrchní vrstvou je materiál para-aramid s PU/Al zátěrem. Dalšími vrstvami optimálního sendviče jsou recyklovaná aramidová NT, membrána PU - FR a jako podšívka bavlněná pletenina s počesem a nehořlavou úpravou. Tento typ skladby výrazně zvýšil odolnost sendviče hasičské zásahové rukavice vůči sálavému teplu, a proto jej navrhuji jako neoptimálnější pro použití hřbetní skladby hasičské zásahové rukavice.

Seznam použitých pramenů

- [1] ZEMBOL, F.: *Analýza parametrů infračerveného zobrazení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2011.
- [2] STŘEDA, I.: *Základy rovnovážné termodynamiky*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001. ISBN 80-7083-453-6.
- [3] Vytápění. [online]. [cit. 2012-01-02] Dostupné z: <http://archiv.sps-tabor.cz/attachment/sipvz_vytapeni.pdf>.
- [4] KALOUSEK, M. – HUČKO, B.: *Prenos tepla*, STU v Bratislave, 1996.
- [5] Tepelné a akustické vlastnosti stavebních materiálů [online]. [cit. 2011-11-22] Dostupné z: <http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/IZMA/prednaskaIII_IZMA.pdf>.
- [6] RENDLA, F.: *Tepelná izolace*. SNTL Praha, 1962.
- [7] CAPS, R., UMBRACH, K.: *Melliand Textilberichte*, 1990.
- [8] MICHEJEV, M., A.: *Základy sdílení tepla*. Praha: SNTL, 1953.
- [9] DRASTICH, A.: *Klasické zobrazovací systémy v medicíně a ekologii*. E-learning ÚBMT FEKT VUT Brno, 2008.
- [10] VAŠKO, A.: *Infračervené záření a jeho užití*. Státní nakladatelství technické literatury, 1963, 296 s., ISBN 04-521-63
- [11] DOUBEK, J.: *Infračervená radiometrie*, Praha: Ministerstvo všeobecného strojírenství, 1983, 70 s.
- [12] KREIDL, M.: *Měření teploty*, BEN, Praha 2005, ISBN 80-7300-145-4.
- [13] Emisivita. [online]. [cit. 2011-11-06] Dostupné z: <<http://termowiki.termogram.cz/index.php/Emisivita>>.
- [14] ČSN EN 659 + A1 (83 2366) – *Ochranné rukavice pro hasiče*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [15] Holík. [online]. [cit. 2011-10-20] Dostupné z: <<http://www.holik-international.cz/>>.
- [16] MIILITKÝ, JIŘÍ.: *Technické textilie*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-170-1.
- [17] Specifikace materiálu - Kevlar: Kevlar. [online]. [cit. 2012-01-16]. Dostupné z: <http://www.odetka.cz/net20/cz/hitech_snury_specmat_kevlar.aspx>
- [18] Militký, J. *Textilní vlákna; Speciální vlákna*. První. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. 423s. ISBN 80-7083-892-2.

- [19] Vlákná pro kompozity [online]. [cit. 2012-01-20]. Dostupné z: <<http://www.volny.cz/zkorinek/vlakna.pdf>>.
- [20] Specifikace materiálu: Twaron [online]. [cit. 2012-01-12]. Dostupné z: <http://www.odetka.cz/net20/cz/specmat_twaron.aspx>.
- [21] TOMKOVÁ, B.: *Textilní kompozity – přednášky*. Liberec, 2011.
- [22] Teijin: Twaron [online]. [cit. 2012-01-5]. Dostupné z: <<http://www.teijinaramid.com/aramids/twaron/>>.
- [23] Specifikace materiálu: Technora [online]. [cit. 2012-01-12]. Dostupné z: <http://www.odetka.cz/net20/cz/specmat_technora.aspx>.
- [24] Teijin: Technora [online]. [cit. 2012-01-19]. Dostupné z: <<http://www.teijinaramid.com/aramids/technora/>>.
- [25] Basofil [online]. [cit. 2012-02-13]. Dostupné z: <<http://www.basofil.com/>>.
- [26] Speciální vlákna [online]. [cit. 2012-02-18]. Dostupné z: <http://www.odetka.cz/net20/cz/specialni_vlakna.aspx>.
- [27] Engineered fibers technology [online]. [cit. 2012-02-19]. Dostupné z: <http://www.eftfibers.com/prod_melamine.php>.
- [28] Růžičková, D.: *Oděvní materiály*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003. 221s. ISBN 80-7083-682-2.
- [29] Polyurethanes [online]. [cit. 2012-03-13]. Dostupné z: <<http://pslc.ws/macrog/urethane.htm>>.
- [30] Polytetrafluorethylen [online]. [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: <[www.gvp.cz/~vondrackova/Chemie/.../PTFE\(Bílik%20Aleš\).ppt](http://www.gvp.cz/~vondrackova/Chemie/.../PTFE(Bílik%20Aleš).ppt)>.
- [31] Polytetrafluorethylethylen [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z: <<http://www.jergym.hiedu.cz/~canovm/polymery/polymera/ptfe.htm>>.
- [32] Přírodní vlákna [online]. [cit. 2012-03-28]. Dostupné z: <<https://skripta.ft.tul.cz/databaze/list.cgi?skr=18&pro=12-27-54>>.
- [33] Hladík, Vladimír a kol. *Textilní vlákna*. SNTL Praha 1970. ISBN
- [34] Celuloza [online]. [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Celuloza.jpg>>.
- [35] Modacryl [online]. [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Modacrylic>>.
- [36] Modacrylic fiber [online]. [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: <http://www.apparelsearch.com/modacrylic_fiber.htm>.

- [37] Modacrylic [online]. [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: <http://218.189.210.187/ApparelKey/Document/Cate2/2.4/modacrylic_structure.htm>.
- [38] ČSN EN 407 (83 2326) – Ochranné rukavice proti tepleným rizikům (teplu a/nebo ohni). Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [39] ČSN EN 702 (83 2752) – Ochranné oděvy – Ochrana proti teplu a ohni – Zkušební metoda pro stanovení prostupu tepla ochranným oděvem nebo jeho materiály při dotyku. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [40] ČSN EN ISO 6942 (83 2744) – Ochranné oděvy- Ochrana proti teplu a ohni – Zkušební metoda: Hodnocení materiálu a kombinací materiálů vystavených sálavému teplu. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [41] MOUČKOVÁ, A., JIRSÁK, O.: Radiační tok tepla textiliemi. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Strutex, 2001. ISBN 80-7083-549-4.
- [42] ČSN EN 388 (83 2350) – Ochranné rukavice proti mechanickým rizikům. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [43] HES, L.: *Úvod do komfortu textilií*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-926-0.
- [44] KALČEVOVÁ, J.: [online]. [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: <<http://jana.kalcev.cz/vyuka/kestazeni/EKO422-Vahy.pdfv>>

Seznam studovaných pramenů

ČSN EN 420 (83 2300) – Ochranné rukavice – Všeobecné požadavky a metody zkoušení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

MOUČKOVÁ, A.: Vývoj metody měření radiačního tepelného toku textiliemi. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002.

RŮŽIČKOVÁ, J.: Radiační tok tepla objemnými textiliemi. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003.

Seznam obrázků

<i>OBR. 1 - VEDENÍ TEPLA SLOŽENOU ROVINNOU STĚNOU</i>	14
<i>OBR. 2 - VEDENÍ TEPLA SLOŽENOU ROVINNOU STĚNOU – ODVOZENÍ</i>	14
<i>OBR. 3 - ZÁVISLOST SOUČinitele TEPELNÉ VODIVOSTI NA OBJEMOVÉ HMOTNOSTI U RŮZNÝCH MATERIÁLŮ [5]</i>	17
<i>OBR. 4 - SCHÉMA SÁLÁNÍ [3]</i>	19
<i>OBR. 5 - SENDVIČ HASIČSKÉ ZÁSAHOVÉ RUKAVICE [15]</i>	23
<i>OBR. 6 - STRUKTURNÍ VZOREC KEVLARU [19]</i>	25
<i>OBR. 7 - STRUKTURNÍ VZOREC NOMEXU [18]</i>	26
<i>OBR. 8 - STRUKTURNÍ VZOREC TECHNORY [24]</i>	27
<i>OBR. 9 - STRUKTURNÍ VZOREC PBI [18]</i>	27
<i>OBR. 10 - STRUKTURÁLNÍ VZOREC PBO [19]</i>	27
<i>OBR. 11 - STRUKTURNÍ VZOREC KERMELU [18]</i>	28
<i>OBR. 12 - STRUKTURNÍ VZOREC – BASOFIL [27]</i>	28
<i>OBR. 13 - STRUKTURNÍ VZOREC – KYNOL [16]</i>	29
<i>OBR. 14 - STRUKTURNÍ VZOREC – POLYURETAN [29]</i>	30
<i>OBR. 15 - STRUKTURNÍ VZOREC – PTFE [31]</i>	31
<i>OBR. 16 - STRUKTURNÍ VZOREC – CELULÓZA [34]</i>	31
<i>OBR. 17 - STRUKTURNÍ VZOREC – MODAKRYL (AKRILONITRIL) [37]</i>	32
<i>OBR. 18 - SCHÉMA PŘÍSTROJE ALAMBETA</i>	36
<i>OBR. 19 - SCHÉMA PŘÍSTROJE</i>	38
<i>OBR. 20 - FOTOGRAFIE PŘÍSTROJE</i>	38
<i>OBR. 21 - OMEGA SUPERMETER TRUERMS HHM 290</i>	38
<i>OBR. 22 - BEZKONTAKTNÍ INFRAČERVENÝ TEPLOMĚR E SUN</i>	38
<i>OBR. 23 - SCHÉMA PŘÍSTROJE</i>	39
<i>OBR. 24 - FOTOGRAFIE PŘÍSTROJE S KALORIMETREM</i>	39
<i>OBR. 25 - KALORIMETR S TERMOČLÁNKEM A UPEVNĚNÝM TEXTILNÍM MATERIÁLEM</i>	40
<i>OBR. 26 - MĚŘÍCÍ MODUL AD24USB</i>	40
<i>OBR. 27 - UKÁZKA BARVENÉ ŠÁLY ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ – (ZLEVA) 1 - BÍLÁ, 2 - VELMI SVĚTLE ŠEDÁ, 3 - SVĚTLE ŠEDÁ, 4 - STŘEDNĚ ŠEDÁ, 5 - TMAVĚ ŠEDÁ, 6 - VELMI TMAVĚ ŠEDÁ, 7 – ČERNÁ</i>	43
<i>OBR. 28 - ZKUŠEBNÍ VZORKY – ZLEVA – BA+CHROM, BA+ZINEK, BA+HLINÍK, BA+HLINÍKOVÁ PÁSKA, BA+„STŘÍBRNÁ“ PÁSKA</i>	44
<i>OBR. 29 - BAVLNĚNÉ TEXTILIE SE „STŘÍBRNOU“ PÁSKOU A RŮZNÝMI NÁSTŘIKY, ZLEVA CHROMOVÝ, ZINKOVÝ, HLINÍKOVÝ</i>	45
<i>OBR. 30 – PARA-ARAMID S PU/AL ZÁTĚREM</i>	45

Seznam tabulek

TABULKA 1 - KOEFICIENTY ABSORPCE, TRANSMISE A REFLEXE PRO RŮZNÉ TYPY MATERIÁLŮ	20
TABULKA 2 - ÚROVNĚ (TŘÍDY) PROVEDENÍ PRO ZKOUŠKU KONTAKTNÍHO TEPLA	33
TABULKA 3 - ÚROVNĚ (TŘÍDY) PROVEDENÍ PRO ZKOUŠKU KONTAKTNÍHO TEPLA	33
TABULKA 4 - VÁHY KRITÉRIÍ, KDY $K = 3$	50
TABULKA 5 - BODOVÉ HODNOCENÍ KATEGORIÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ	50
TABULKA 6 - BAREVNÉ OZNAČENÍ VRSTEV SENDVIČE	52
TABULKA 7 - HODNOTY MĚŘENÉ NA PŘÍSTROJI ALAMBETA U TEXTILIÍ VHODNÝCH JAKO 1. VRSTVA HASIČSKÉ ZÁSAHOVÉ RUKAVICE	52
TABULKA 8 - HODNOTY MĚŘENÉ NA PŘÍSTROJI ALAMBETA U TEXTILIÍ VHODNÝCH JAKO 2. VRSTVA HASIČSKÉ ZÁSAHOVÉ RUKAVICE	53
TABULKA 9 - HODNOTY MĚŘENÉ NA PŘÍSTROJI ALAMBETA U TEXTILIÍ VHODNÝCH JAKO 3. VRSTVA HASIČSKÉ ZÁSAHOVÉ RUKAVICE	54
TABULKA 10 - HODNOTY MĚŘENÉ NA PŘÍSTROJI ALAMBETA U TEXTILIÍ VHODNÝCH JAKO 4. VRSTVA HASIČSKÉ ZÁSAHOVÉ RUKAVICE	54
TABULKA 11 - DALŠÍ MATERIÁLY PROMĚŘENÉ NA PŘÍSTROJI ALAMBETA	55
TABULKA 12 - HODNOTY TEPLIT MĚŘENÉ RŮZNÝMI ZAŘÍZENÍMI PŘI SKLADBĚ 7/1	57
TABULKA 13 - STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH USTÁLENÝCH TEPLITNÍCH HODNOT SKLADBY 7/1	58
TABULKA 14 - HODNOTY TEPLIT MĚŘENÉ RŮZNÝMI ZAŘÍZENÍMI PŘI SKLADBĚ 7/7	58
TABULKA 15 - STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH USTÁLENÝCH TEPLITNÍCH HODNOT SKLADBY 7/7	59
TABULKA 16 - HODNOTY TEPLIT MĚŘENÉ RŮZNÝMI ZAŘÍZENÍMI PŘI SKLADBĚ 1/7	60
TABULKA 17 - STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH USTÁLENÝCH TEPLITNÍCH HODNOT SKLADBY 1/7	61
TABULKA 18 - HODNOTY TEPLIT MĚŘENÉ RŮZNÝMI ZAŘÍZENÍMI PŘI SKLADBĚ 1/1	61
TABULKA 19 - STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH USTÁLENÝCH TEPLITNÍCH HODNOT SKLADBY 1/1	62
TABULKA 20 - STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT TEPLIT A INDEXŮ PŘESTUPU SÁLAVÉHO TEPLA U RŮZNÝCH TYPŮ DVOUVRSTVÝCH SKLADEB	64
TABULKA 21 - NAMĚŘENÉ A PRŮMĚRNÉ HODNOTY TEPLIT A INDEXŮ PŘESTUPU SÁLAVÉHO TEPLA U RŮZNÝCH TYPŮ DVOUVRSTVÝCH SKLADEB	65
TABULKA 22 - NAMĚŘENÉ A PRŮMĚRNÉ HODNOTY TEPLIT A INDEXŮ PŘESTUPU SÁLAVÉHO TEPLA	66
TABULKA 23 – ZJIŠTĚNÉ PARAMETRY ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ NOMEX	68
TABULKA 24 - INDEX PŘESTUPU SÁLAVÉHO TEPLA U NAVRŽENÝCH SKLADEB	72
TABULKA 25 – INDEX PŘESTUPU SÁLAVÉHO TEPLA U VYBRANÝCH STÁVAJÍCÍCH SENDVIČŮ	74

<i>TABULKA 26 - VÝSLEDKY VÍCEKRITERIÁLNÍHO ROZHODOVÁNÍ U NAVRŽENÝCH I STÁVAJÍCÍCH SENDVIČŮ</i>	75
--	----

Seznam grafů

<i>GRAF 1 - NÁRŮST TEPLoty V PRŮBĚHU ČASU U SKLADBY 7/1</i>	57
<i>GRAF 2 - GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ PRŮMĚRNÝCH TEPLOTNÍCH HODNOT SKLADBY 7/1</i>	58
<i>GRAF 3 - NÁRŮST TEPLoty V PRŮBĚHU ČASU U SKLADBY 7/7</i>	59
<i>GRAF 4 - GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ PRŮMĚRNÝCH TEPLOTNÍCH HODNOT</i>	60
<i>GRAF 5 - NÁRŮST TEPLoty V PRŮBĚHU ČASU U SKLADBY 1/7</i>	60
<i>GRAF 6 - GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ PRŮMĚRNÝCH TEPLOTNÍCH HODNOT</i>	61
<i>GRAF 7 - NÁRŮST TEPLoty V PRŮBĚHU ČASU U SKLADBY 1/1</i>	62
<i>GRAF 8 - GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ PRŮMĚRNÝCH TEPLOTNÍCH HODNOT</i>	63
<i>GRAF 9 - PRŮMĚRNÉ HODNOTY INDEXŮ PŘESTUPŮ SÁLAVÉHO TEPLA U RŮZNÝCH TYPŮ SKLADEB</i>	64
<i>GRAF 10 - PRŮMĚRNÉ HODNOTY INDEXŮ PŘESTUPŮ SÁLAVÉHO TEPLA U RŮZNÝCH TYPŮ SKLADEB</i>	65

Seznam příloh

<i>PŘÍLOHA 1 TABULKA S HODNOTAMI LOI U VYBRANÝCH VLÁKEN</i>	1
<i>PŘÍLOHA 2 STANOVENÍ TERMOFYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ TEXTILIÍ NA PŘÍSTROJI ALAMBETA</i>	2
<i>PŘÍLOHA 3 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT Z PŘÍSTROJE ALAMBETA</i>	4
<i>PŘÍLOHA 4 VLIV EMISIVITY NA PŘESTUP TEPLA – NAMĚŘENÉ HODNOTY, STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT A GRAFY.</i>	19
<i>PŘÍLOHA 5 STATISTICKÁ VYHODNOCENÍ STANOVENÍ INDEXU PŘESTUPU SÁLAVÉHO TEPLA U TEXTILIÍ S POVRCHOVOU ÚPRAVOU</i>	33
<i>PŘÍLOHA 6 STATISTICKÁ VYHODNOCENÍ STANOVENÍ INDEXU PŘESTUPU SÁLAVÉHO TEPLA U TEXTILIÍ MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ NOMEX</i>	34
<i>PŘÍLOHA 7 STATISTICKÁ VYHODNOCENÍ STANOVENÍ INDEXU PŘESTUPU SÁLAVÉHO TEPLA U NAVRŽENÝCH SENDVIČŮ</i>	35
<i>PŘÍLOHA 8 UKÁZKA PRŮBĚHU ZKOUŠKY MĚŘENÍ INDEXU PŘESTUPU SÁLAVÉHO TEPLA - GRAF</i>	40

PŘÍLOHY

Příloha 1 Tabulka s hodnotami LOI u vybraných vláken

Klasifikace	Vlákno	LOI [%]	T _m resp. T _R
Nehořlavá	sklo	nehoří	800
tepelně odolná	nomex	30	400
	novoloid (Kynol)	30 - 40	350
	teflon (PTFE)	95	327
	uhlíková vlákna	>60	-
	polybenzimidazol	41	450
	polyfenylénsulfid	34	285
odolné vůči hoření	modakrylová	27 - 31	160 - 190
	nehořlavý PL	28 - 32	259
	kevlar	28	480
	PVC (Vynilon)	35 - 37	210
	vlna	24 - 26	-
Hořlavá	bavlna	17 - 19	-
	POP	19 - 20	164 – 170
	nylon	20 - 22	256
	polyester	20 - 22	258
	akrylová vlákna	20	Rozklad
	viskóza	17 - 19	-

Příloha 2 Stanovení termofyzikálních vlastností textilií na přístroji Alambeta

Fotodokumentace zkušebních vzorků a jejich plošná hmotnost [g/m²]



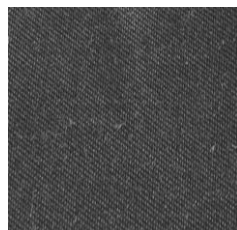
Nomex Comfort
žlutý, 163 g/m²



Nomex DeltaC
červený,
201,6 g/m²



Kermel, 212 g/m²



Nomex Comfort
černý se zátěrem,
314,8 g/m²



Nomex III
oranžový, 260 g/m²



PBI s SI zátěrem
gold, 270,4 g/m²



Lícová hovězinová
useň 0,9 – 1,1 mm,
500 g/m²



Nomex III zelený,
240,8 g/m²



Nomex Comfort
šedý,
261,6 g/m²



Nomex s SI
zátěrem II.,
290,4 g/m²



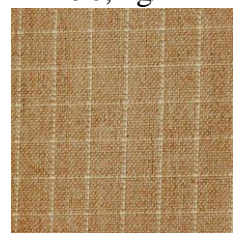
Nomex s SI
zátěrem III.,
281,2 g/m²



Nomex s PU
zátěrem I., 212 g/m²



Nomex diana se
zátěrem, 280,8 g/m²



PBI Matrix se
zátěrem, 290,4 g/m²



Hovězinová
štípenka 0,9 –
1,1 mm, 786,4 g/m²



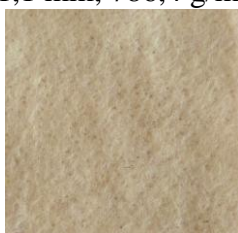
Para-aramid se
zátěrem PU/Al,
225,2 g/m²



Nomex DeltaC
červený se zátěrem,
373,2 g/m²



Pletenina
Nylon/aramid se
zátěrem, 573,2 g/m²



NT nomex/kevlar
67,6 g/m²



Recyklovaná
aramidová NT,
61,2 g/m²



Recyklovaná
aramidová NT
93,04 g/m²



NT 50% aramid
50% ba 205,04 g/m²



NT 100% kevlar
120 g/m²



PU – FR
membrána, 60 g/m²



PTFE/PU - FR
membrána,
118,4 g/m²



Membrána opatřená
výstupky,
152 g/m²



Ba s počesem
a nehoř. úpravou,
298,4 g/m²



Pletenina aramid
s počesem,
289,2 g/m²



Modakryl/Ba,
356 g/m²



Kevla/PL/sklo,
349,2 g/m²



Kevlarová
interloková
pletenina, 180 g/m²



Kevlar/Ba/Protex
– M, 282,4 g/m²



Para-aramid froté
343,2 g/m²



3D aramid
podšívka, 736 g/m²



Para-aramid froté
383,6 g/m²



PU pěna,
147,4 g/m²



3 D pletenina PL,
336 g/m²



Ba tkanina,
154,6 g/m²

Příloha 3 Statistické zpracování dat z přístroje Alambeta

<i>Materiál určený pro vrchní vrstvu zásahové rukavice</i>	<i>Měrná tepelná vodivost λ [W.m⁻¹.K⁻¹]</i>				
	<i>Průměrná hodnota $\bar{\lambda}$ [W.m⁻¹.K⁻¹]</i>	<i>Směrodatná odchylka s [W.m⁻¹.K⁻¹]</i>	<i>Rozptyl s^2 [W.m⁻¹.K⁻¹]</i>	<i>Variační koeficient [%]</i>	<i>95% Interval spolehlivosti [W.m⁻¹.K⁻¹]</i>
Nomex Comfort žlutý	0,043	0,0012	1,42E-06	2,740	0,0010
Nomex DeltaC červený	0,048	0,0011	1,17E-06	2,264	0,0009
KERMEL	0,049	0,0007	5,46E-07	1,517	0,0006
Nomex Comfort černýse zátěrem	0,053	0,0006	3,46E-07	1,103	0,0005
Nomex III oranžový	0,054	0,0013	1,71E-06	2,413	0,0011
PBI s SI zátěrem, gold	0,055	0,0020	3,81E-06	3,536	0,0017
Lícová hovězinová useň 0,9 mm - 1,1 mm	0,056	0,0040	1,62E-05	7,253	0,0035
Nomex III zelený	0,056	0,0012	1,46E-06	2,162	0,0011
Nomex Comfort šedý	0,057	0,0015	2,38E-06	2,716	0,0014
Nomex s SI zátěrem II.	0,058	0,0008	5,72E-07	1,295	0,0007
Nomex s SI zátěrem III.	0,058	0,0018	3,14E-06	3,036	0,0016
Nomex s PU zátěrem I.	0,06	0,0012	1,36E-06	1,960	0,0010
Nomex diana se zátěrem	0,066	0,0017	2,74E-06	2,514	0,0015
PBI Matrix se zátěrem	0,067	0,0073	5,36E-05	10,995	0,0064
Hovězinová štípenka 0,9 mm - 1,1 mm	0,069	0,0055	3,07E-05	8,089	0,0049
Para-aramid se zátěrem PU/Al	0,071	0,0023	5,25E-06	3,215	0,0020

Nomex DeltaC červený se zátěrem	0,072	0,0040	1,60E-05	5,582	0,0035
Pletenina Nylon/aramid se zátěrem	0,073	0,0018	3,07E-06	2,401	0,0015

<i>Materiál určený pro vrchní vrstvu zásahové rukavice</i>	<i>Plošný odpor vedení tepla $r [K.m^2.W^{-1}].10^{-3}$</i>				
	<i>Průměrná hodnota $\bar{r} [K.m^2.W^{-1}].10^{-3}$</i>	<i>Směrodatná odchylka $s [K.m^2.W^{-1}].10^{-3}$</i>	<i>Rozptyl $s^2 [K.m^2.W^{-1}].10^{-3}$</i>	<i>Variační koeficient [%]</i>	<i>95% Interval spolehlivosti $[K.m^2.W^{-1}].10^{-3}$</i>
Nomex Comfort žlutý	6,32	0,000	0,000	0,002	0,000
Nomex DeltaC červený	7,44	0,000	0,000	0,001	0,000
KERMEL	7,24	0,001	0,000	0,006	0,001
Nomex Comfort černýse zátěrem	9,42	0,000	0,000	0,005	0,000
Nomex III oranžový	8,32	0,001	0,000	0,006	0,000
PBI s SI zátěrem, gold	6,76	0,000	0,000	0,006	0,000
Lícová hovězinová useň 0,9 mm - 1,1 mm	20,78	0,004	0,000	0,017	0,003
Nomex III zelený	6,22	0,000	0,000	0,002	0,000
Nomex Comfort šedý	7,74	0,000	0,000	0,003	0,000
Nomex s SI zátěrem II.	8,90	0,000	0,000	0,002	0,000
Nomex s SI zátěrem III.	7,02	0,000	0,000	0,003	0,000
Nomex s PU zátěrem I.	7,08	0,000	0,000	0,002	0,000
Nomex diana se zátěrem	6,74	0,000	0,000	0,003	0,000
PBI Matrix se zátěrem	5,78	0,000	0,000	0,006	0,000
Hovězinová štípenka 0,9 mm - 1,1 mm	19,16	0,001	0,000	0,006	0,001

Para-aramid se zátěrem PU/Al	5,70	0,000	0,000	0,002	0,000
Nomex DeltaC červený se zátěrem	5,36	0,000	0,000	0,003	0,000
Pletenina Nylon/aramid se zátěrem	17,02	0,000	0,000	0,002	0,000

<i>Materiál určený pro vrchní vrstvu zásahové rukavice</i>	<i>Tloušťka h [mm]</i>				
	<i>Průměrná hodnota \bar{h} [mm]</i>	<i>Směrodatná odchylka s [mm]</i>	<i>Rozptyl s^2 [mm]</i>	<i>Variační koeficient [%]</i>	<i>95% Interval spolehlivosti [mm]</i>
Nomex Comfort žlutý	0,276	0,012	0,000	4,348	0,011
Nomex DeltaC červený	0,356	0,005	0,000	1,376	0,004
KERMEL	0,354	0,010	0,000	2,881	0,009
Nomex Comfort černýse zátěrem	0,502	0,026	0,001	5,102	0,022
Nomex III oranžový	0,448	0,016	0,000	3,571	0,014
PBI s SI zátěrem, gold	0,372	0,012	0,000	3,135	0,010
Lícová hovězinová useň 0,9 mm - 1,1 mm	1,146	0,161	0,026	14,088	0,142
Nomex III zelený	0,348	0,004	0,000	1,149	0,004
Nomex Comfort šedý	0,438	0,004	0,000	0,913	0,004
Nomex s SI zátěrem II.	0,520	0,000	0,000	0,000	0,000
Nomex s SI zátěrem III.	0,410	0,020	0,000	4,878	0,018
Nomex s PU zátěrem I.	0,422	0,004	0,000	0,948	0,004
Nomex diana se zátěrem	0,440	0,000	0,000	0,000	0,000

PBI Matrix se zátěrem	0,388	0,053	0,003	13,579	0,046
Hovězinová štípenka 0,9 mm - 1,1 mm	1,308	0,061	0,004	4,648	0,053
Para-aramid se zátěrem PU/Al	0,406	0,008	0,000	1,970	0,007
Nomex DeltaC červený se zátěrem	0,386	0,014	0,000	3,514	0,012
Pletenina Nylon/aramid se zátěrem	1,240	0,011	0,000	0,883	0,010

<i>Materiál určený pro vrchní vrstvu zásahové rukavice</i>	<i>Tepelný tok q [W.m²]</i>				
	<i>Průměrná hodnota \bar{q} [W.m²]</i>	<i>Směrodatná odchylka s [W.m²]</i>	<i>Rozptyl s^2 [W.m²]</i>	<i>Variační koeficient [%]</i>	<i>95% Interval spolehlivosti [W.m²]</i>
Nomex Comfort žlutý	604,8	13,497	182,160	2,232	11,830
Nomex DeltaC červený	625,0	17,029	290,000	2,725	14,927
KERMEL	641,6	22,553	508,640	3,515	19,768
Nomex Comfort černý se zátěrem	585,4	30,936	957,040	5,285	27,116
Nomex III oranžový	640,8	11,125	123,760	1,736	9,751
PBI s SI zátěrem, gold	560,2	9,042	81,760	1,614	7,926
Lícová hovězinová useň 0,9 mm - 1,1 mm	739,4	61,860	3826,640	8,366	54,222

Nomex III zelený	693,8	8,658	74,960	1,248	7,589
Nomex Comfort šedý	627	34,624	1198,800	5,522	30,348
Nomex s SI zátěrem II.	523,6	9,687	93,840	1,850	8,491
Nomex s SI zátěrem III.	604,2	14,063	197,760	2,327	12,326
Nomex s PU zátěrem I.	535,8	8,588	73,760	1,603	7,528
Nomex diana se zátěrem	694	16,709	279,200	2,408	14,646
PBI Matrix se zátěrem	715,2	48,383	2340,960	6,765	42,409
Hovězinová štípenka 0,9 mm - 1,1 mm	655,8	33,938	1151,760	5,175	29,747
Para-aramid se zátěrem PU/Al	947	35,588	1266,500	3,758	31,194
Nomex DeltaC červený se zátěrem	733,4	20,304	412,240	2,768	17,797
Pletenina Nylon/aramid se zátěrem	709,2	28,174	793,760	3,973	24,695

Materiál vhodný pro 2. vrstvu zásahové rukavice - mezivrstva	Měrná tepelná vodivost λ [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]				
	Průměrná hodnota $\bar{\lambda}$ [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]	Směrodatná odchylka s [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]	Rozptyl s^2 [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]
NT nomex/kevlar	0,033	0,0004	0,0000	1,1449	0,0003
recyklovaná aramidová NT 61,2 g/m ²	0,036	0,0006	3,3E-07	1,569	0,0005
recyklovaná aramidová NT 93,04 g/m ²	0,038	0,0007	0,0000	1,7686	0,0006
NT 50 % aramid 50 % ba	0,044	0,0010	0,0000	2,3633	0,0009
NT 100 % kevlar	0,044	0,0018	0,0000	4,1484	0,0016

Materiál vhodný pro 2. vrstvu zásahové rukavice - mezivrstva	Plošný odpor vedení tepla r [$\text{K.m}^2.\text{W}^{-1}$].10 ⁻³				
	Průměrná hodnota \bar{r} [$\text{K.m}^2.\text{W}^{-1}$].10 ⁻³	Směrodatná odchylka s [$\text{K.m}^2.\text{W}^{-1}$].10 ⁻³	Rozptyl s^2 [$\text{K.m}^2.\text{W}^{-1}$].10 ⁻³	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti [$\text{K.m}^2.\text{W}^{-1}$].10 ⁻³
NT nomex/kevlar	37,06	0,001	0,000	0,003	0,001
recyklovaná aramidová NT 61,2 g/m ²	31,40	0,001	0,000	0,005	0,001
recyklovaná aramidová NT 93,04 g/m ²	45,36	0,003	0,000	0,006	0,003
NT 50 % aramid 50 % ba	57,30	0,004	0,000	0,006	0,003
NT 100 % kevlar	37,20	0,002	0,000	0,005	0,002

<i>Materiál vhodný pro 2. vrstvu zásahové rukavice - mezivrstva</i>	<i>Tloušťka h [mm]</i>				
	<i>Průměrná hodnota \bar{h} [mm]</i>	<i>Směrodatná odchylka s [mm]</i>	<i>Rozptyl s^2 [mm]</i>	<i>Variační koeficient [%]</i>	<i>95% Interval spolehlivosti [mm]</i>
NT nomex/kevlar	1,224	0,039	0,002	3,210	0,034
recyklovaná aramidová NT 61,2 g/m²	1,148	0,061	0,004	5,353	0,054
recyklovaná aramidová NT 93,04 g/m²	1,728	0,117	0,014	6,782	0,103
NT 50 % aramid 50 % ba	2,510	0,105	0,011	4,179	0,092
NT 100 % kevlar	1,622	0,113	0,013	6,990	0,099

<i>Materiál vhodný pro 2. vrstvu zásahové rukavice - mezivrstva</i>	<i>Tepelný tok q [W.m²]</i>				
	<i>Průměrná hodnota \bar{q} [W.m²]</i>	<i>Směrodatná odchylka s [W.m²]</i>	<i>Rozptyl s^2 [W.m²]</i>	<i>Variační koeficient [%]</i>	<i>95% Interval spolehlivosti [W.m²]</i>
NT nomex/kevlar	177,4	5,571	31,040	3,141	4,883
recyklovaná aramidová NT 61,2 g/m²	203,4	14,023	196,640	6,894	12,291
recyklovaná aramidová NT 93,04 g/m²	189,4	21,537	463,840	11,371	18,878
NT 50 % aramid 50 % ba	252,8	19,904	396,160	7,873	17,446
NT 100 % kevlar	207,6	10,744	115,440	5,175	9,418

Materiál vhodný pro 3. vrstvu zásahové rukavice-membrána	Měrná tepelná vodivost λ [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]				
	Průměrná hodnota $\bar{\lambda}$ [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]	Směrodatná odchylka s [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]	Rozptyl s^2 [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]
PU – FR	0,008	0,00035	1,23E-07	4,137	0,0003
PTFE/PU – FR	0,029	0,00245	6E-06	8,463	0,0021
Membrána opatřená výstupky	0,038	0,00164	2,69E-06	4,346	0,0014

Materiál vhodný pro 3. vrstvu zásahové rukavice-membrána	Plošný odpor vedení tepla r [$\text{K.m}^2.\text{W}^{-1}$]. 10^{-3}				
	Průměrná hodnota \bar{r} [$\text{K.m}^2.\text{W}^{-1}$]. 10^{-3}	Směrodatná odchylka s [$\text{K.m}^2.\text{W}^{-1}$]. 10^{-3}	Rozptyl s^2 [$\text{K.m}^2.\text{W}^{-1}$]. 10^{-3}	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti [$\text{K.m}^2.\text{W}^{-1}$]. 10^{-3}
PU – FR	1,58	0,000	0,000	0,005	0,000
PTFE/PU – FR	3,50	0,000	0,000	0,003	0,000
Membrána opatřená výstupky	41,06	0,001	0,000	0,003	0,001

<i>Materiál vhodný pro 3. vrstvu zásahové rukavice-membrána</i>	<i>Tloušťka h [mm]</i>				
	<i>Průměrná hodnota \bar{h} [mm]</i>	<i>Směrodatná odchylka s [mm]</i>	<i>Rozptyl s^2 [mm]</i>	<i>Variační koeficient [%]</i>	<i>95% Interval spolehlivosti [mm]</i>
PU – FR	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000
PTFE/PU – FR	0,100	0,010	0,000	10,000	0,009
Membrána opatřená výstupky	1,548	0,018	0,000	1,184	0,016

<i>Materiál vhodný pro 3. vrstvu zásahové rukavice-membrána</i>	<i>Tepelný tok q [$W.m^2$]</i>				
	<i>Průměrná hodnota \bar{q} [$W.m^2$]</i>	<i>Směrodatná odchylka s [$W.m^2$]</i>	<i>Rozptyl s^2 [$W.m^2$]</i>	<i>Variační koeficient [%]</i>	<i>95% Interval spolehlivosti [$W.m^2$]</i>
PU – FR	918,2	16,216	262,960	1,766	14,214
PTFE/PU – FR	764,5	19,500	380,250	2,551	17,092
Membrána opatřená výstupky	413	37,347	1394,800	9,043	32,736

Materiál vhodný pro 4. vrstvu zásahové rukavice-podšívka	Měrná tepelná vodivost λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]				
	Průměrná hodnota $\bar{\lambda}$ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Směrodatná odchylka s [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Rozptyl s^2 [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
Ba + počes – FR	0,048	0,0007	0,0000	1,4641	0,0006
Pletenina aramid + počes	0,057	0,0008	0,0000	1,3780	0,0007
Modakryl/Ba	0,060	0,0003	0,0000	0,4427	0,0002
Kevlar/PL/sklo	0,061	0,0012	0,0000	1,8975	0,0010
Kevlarová interloková pletenina	0,061	0,0010	0,0000	1,6229	0,0009
Kevlar/Ba/protex – M	0,063	0,0018	0,0000	2,8833	0,0016
Para-aramid froté 343,2 g/m²	0,072	0,0026	0,0000	3,6578	0,0023
3D aramid podšívka	0,082	0,0034	0,0000	4,0994	0,0029
Para-aramid froté 383,6 g/m²	0,083	0,0010	0,0000	1,1660	0,0009

Materiál vhodný pro 4. vrstvu zásahové rukavice-podšívka	Plošný odpor vedení tepla $r [K.m^2.W^{-1}].10^{-3}$				
	Průměrná hodnota $\bar{r} [K.m^2.W^{-1}].10^{-3}$	Směrodatná odchylka $s [K.m^2.W^{-1}].10^{-3}$	Rozptyl $s^2 [K.m^2.W^{-1}].10^{-3}$	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti $[K.m^2.W^{-1}].10^{-3}$
Ba + počes – FR	27,50	0,001	0,000	0,003	0,001
Pletenina aramid + počes	50,22	0,002	0,000	0,004	0,002
Modakryl/Ba	21,92	0,000	0,000	0,001	0,000
Kevlar/PL/sklo	20,02	0,001	0,000	0,005	0,001
Kevlarová interloková pletenina	18,20	0,001	0,000	0,003	0,001
Kevlar/Ba/protex – M	23,78	0,001	0,000	0,003	0,001
Para-aramid froté 343,2 g/m²	30,76	0,002	0,000	0,008	0,002
3D aramid podšívka	42,62	0,002	0,000	0,004	0,002
Para-aramid froté 383,6 g/m²	39,60	0,001	0,000	0,004	0,001

<i>Materiál vhodný pro 4. vrstvu zásahové rukavice-podšívka</i>	<i>Tloušťka h [mm]</i>				
	<i>Průměrná hodnota \bar{h} [mm]</i>	<i>Směrodatná odchylka s [mm]</i>	<i>Rozptyl s^2 [mm]</i>	<i>Variační koeficient [%]</i>	<i>95% Interval spolehlivosti [mm]</i>
Ba + počes – FR	1,328	0,029	0,001	2,151	0,025
Pletenina aramid + počes	2,894	0,080	0,006	2,770	0,070
Modakryl/Ba	1,316	0,015	0,000	1,137	0,013
Kevlar/PL/sklo	1,222	0,047	0,002	3,852	0,041
Kevlarová interlokovaná pletenina	1,114	0,022	0,000	1,934	0,019
Kevlar/Ba/protex – M	1,488	0,004	0,000	0,269	0,004
Para-aramid froté 343,2 g/m²	2,202	0,103	0,011	4,688	0,090
3D aramid podšívka	3,494	0,036	0,001	1,034	0,032
Para-aramid froté 383,6 g/m²	3,294	0,097	0,009	2,953	0,085

Materiál vhodný pro 4. vrstvu zásahové rukavice-podšívka	Tepelný tok q [$W.m^2$]				
	Průměrná hodnota \bar{q} [$W.m^2$]	Směrodatná odchylka s [$W.m^2$]	Rozptyl s^2 [$W.m^2$]	Variační koeficient [%]	95% Interval spolehlivosti [$W.m^2$]
Ba + počes – FR	527,2	19,405	376,560	3,681	17,009
Pletenina aramid + počes	252,2	13,348	178,160	5,292	11,700
Modakryl/Ba	402,4	11,758	138,240	2,922	10,306
Kevlar/PL/sklo	356,6	16,978	288,240	4,761	14,881
Kevlarová interlokovaná pletenina	336,6	8,868	78,640	2,635	7,773
Kevlar/Ba/protex – M	287,8	18,236	332,560	6,336	15,984
Para-aramid froté 343,2 g/m²	306,0	17,053	290,800	5,573	14,947
3D aramid podšívka	307,8	13,136	172,560	4,268	11,514
Para-aramid froté 383,6 g/m²	313,8	21,967	482,560	7,000	19,255

<i>Materiál</i>	<i>Měrná tepelná vodivost λ [W.m⁻¹.K⁻¹]</i>				
	<i>Průměrná hodnota $\bar{\lambda}$ [W.m⁻¹.K⁻¹]</i>	<i>Směrodatná odchylka s [W.m⁻¹.K⁻¹]</i>	<i>Rozptyl s^2 [W.m⁻¹.K⁻¹]</i>	<i>Variační koeficient [%]</i>	<i>95% Interval spolehlivosti [W.m⁻¹.K⁻¹]</i>
PU pěna	0,041	0,0003	0,0000	0,8480	0,0003
Baltex 3D	0,057	0,0003	0,0000	0,5297	0,0003
Ba plátno	0,057	0,0034	0,0000	5,9676	0,0030

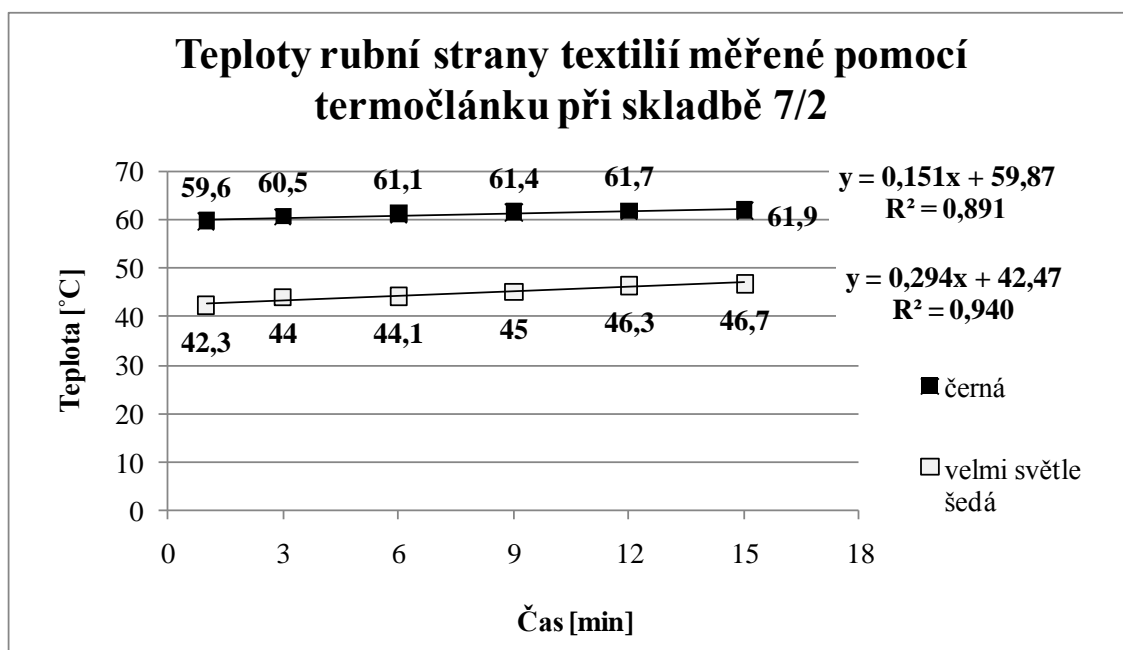
<i>Materiál</i>	<i>Plošný odpor vedení tepla r [K.m².W⁻¹].10⁻³</i>				
	<i>Průměrná hodnota \bar{r} [K.m².W⁻¹].10⁻³</i>	<i>Směrodatná odchylka s [K.m².W⁻¹].10⁻³</i>	<i>Rozptyl s^2 [K.m².W⁻¹].10⁻³</i>	<i>Variační koeficient [%]</i>	<i>95% Interval spolehlivosti [K.m².W⁻¹].10⁻³</i>
PU pěna	116,20	0,002	0,000	0,001	0,001
Baltex 3D	55,22	0,001	0,000	0,001	0,000
Ba plátno	5,04	0,000	0,000	0,004	0,000

<i>Materiál</i>	<i>Tloušťka h [mm]</i>				
	<i>Průměrná hodnota \bar{h} [mm]</i>	<i>Směrodatná odchylka s [mm]</i>	<i>Rozptyl s^2 [mm]</i>	<i>Variační koeficient [%]</i>	<i>95% Interval spolehlivosti [mm]</i>
PU pěna	4,782	0,031	0,001	0,653	0,027
Baltex 3D	3,136	0,040	0,002	1,285	0,035
Ba plátno	0,286	0,008	0,000	2,797	0,007

<i>Materiál</i>	<i>Tepelný tok q [W.m²]</i>				
	<i>Průměrná hodnota \bar{q} [W.m²]</i>	<i>Směrodatná odchylka s [W.m²]</i>	<i>Rozptyl s^2 [W.m²]</i>	<i>Variační koeficient [%]</i>	<i>95% Interval spolehlivosti [W.m²]</i>
PU pěna	203,6	12,516	156,640	6,147	10,970
Baltex 3D	381,0	32,075	1028,800	8,419	28,114
Ba plátno	668,4	33,833	1144,640	5,062	29,655

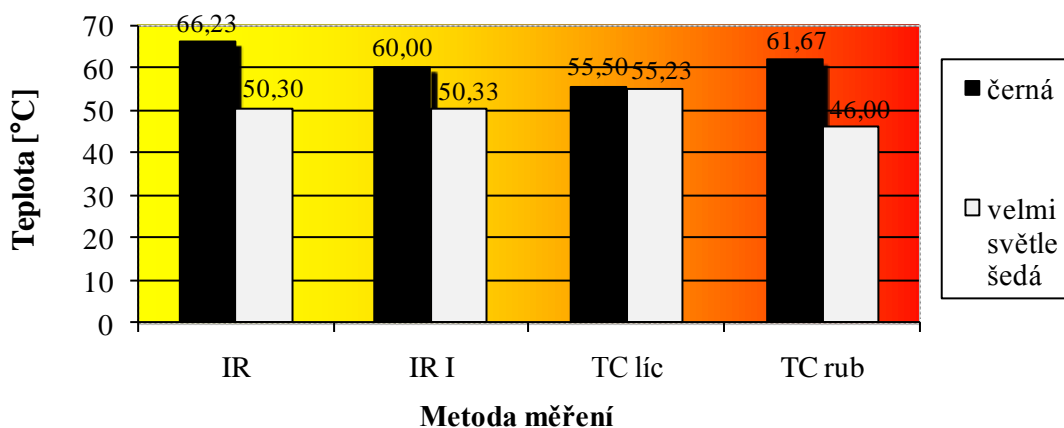
Příloha 4 Vliv emisivity na přestup tepla – Naměřené hodnoty, statistické vyhodnocení dat a grafy.

<i>t [min]</i>	<i>Horní vrstva / odstín 7</i>				<i>Dolní vrstva / odstín 2</i>			
	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>
1	63,80	61,00	54,00	59,60	48,20	50,00	54,50	42,30
3	64,00	59,00	55,50	60,50	48,20	51,00	54,00	44,00
6	64,30	60,00	54,60	61,10	48,40	50,00	54,10	44,10
9	65,80	60,00	55,20	61,40	49,20	51,00	54,80	45,00
12	66,30	60,00	55,50	61,70	49,80	50,00	55,30	46,30
15	66,60	60,00	55,80	61,90	51,90	50,00	55,60	46,70



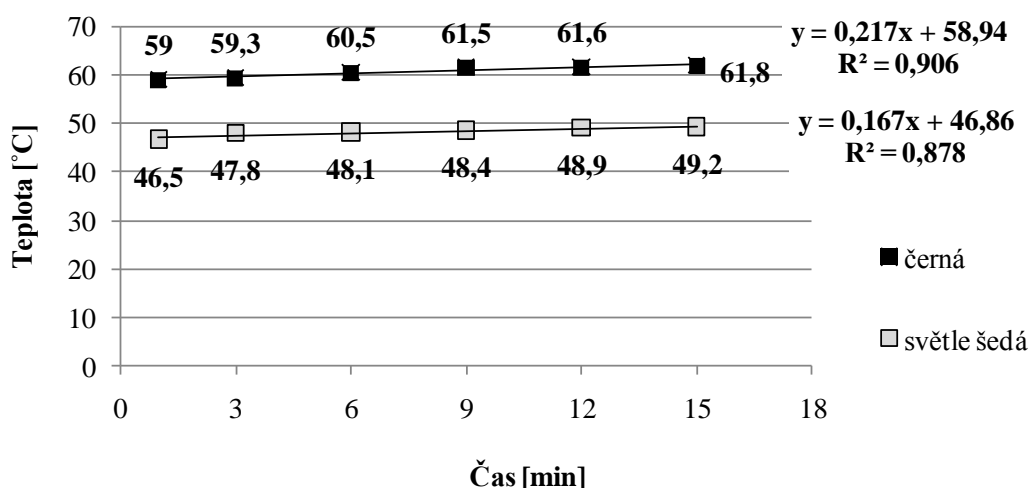
<i>Teplota [°C]</i>	<i>Horní vrstva / odstín 7</i>				<i>Dolní vrstva / odstín 2</i>			
	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>
\bar{T}	66,23	60,00	55,50	61,67	50,30	50,33	55,23	46,00
<i>s</i>	0,33	0,00	0,24	0,21	1,16	0,47	0,33	0,73
<i>s</i> ²	0,11	0,00	0,06	0,04	1,35	0,22	0,11	0,53
<i>v [%]</i>	0,50	0,00	0,44	0,33	2,30	0,94	0,60	1,58
95% IS	± 0,82	± 0	± 0,59	± 0,52	± 2,88	± 1,17	± 0,82	± 1,81

Závislost: TEPLOTA / BARVA / METODA MĚŘENÍ

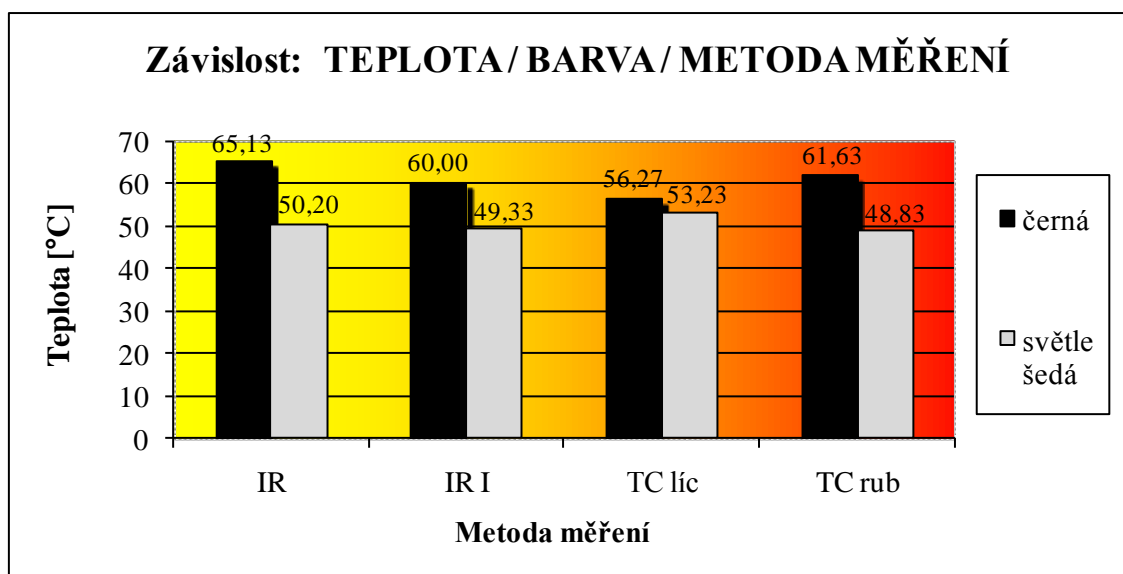


	Horní vrstva / odstín 7				Dolní vrstva / odstín 3			
<i>t [min]</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>
1	63,20	59,00	54,30	59,00	48,20	50,00	52,50	46,50
3	64,40	60,00	54,60	59,30	48,30	49,00	52,60	47,80
6	65,00	60,00	55,00	60,50	48,60	50,00	52,70	48,10
9	65,10	60,00	55,80	61,50	50,20	48,00	52,90	48,40
12	65,10	60,00	56,20	61,60	50,20	50,00	53,20	48,90
15	65,20	60,00	56,80	61,80	50,20	50,00	53,60	49,20

Teploty rubní strany textilií měřené pomocí termočlánku při skladbě 7/3

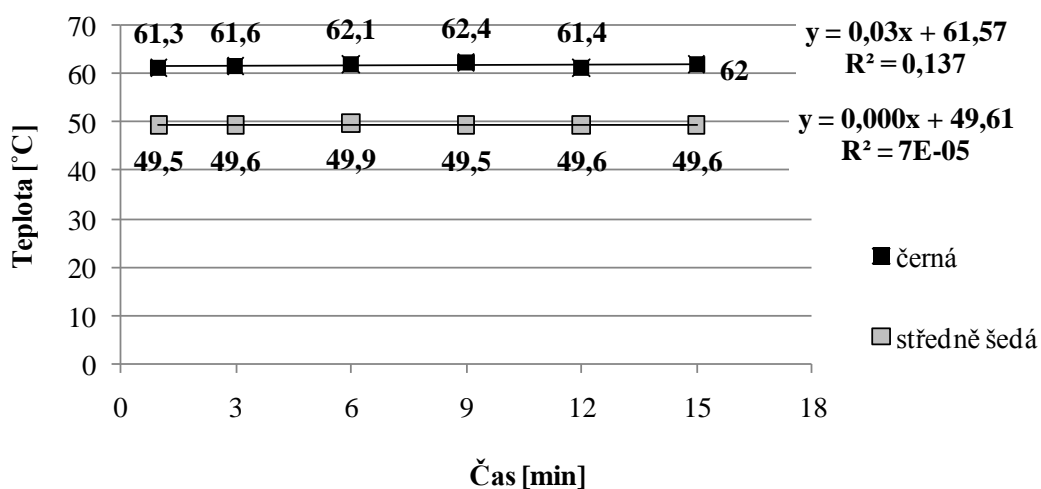


Teplota [°C]	Horní vrstva / odstín 7				Dolní vrstva / odstín 3			
	IR	IR I	TC líc	TC rub	IR	IR I	TC líc	TC rub
\bar{T}	65,13	60,00	56,27	61,63	50,20	49,33	53,23	48,83
s	0,05	0,00	0,41	0,12	0,00	0,94	0,29	0,33
s^2	0,0025	0,00	0,17	0,01	0,00	0,88	0,08	0,11
v [%]	0,07	0,00	0,73	0,20	0,00	1,91	0,54	0,68
95% IS	± 0,12	± 0	± 1,02	± 0,30	± 0	± 2,33	± 0,72	± 0,82



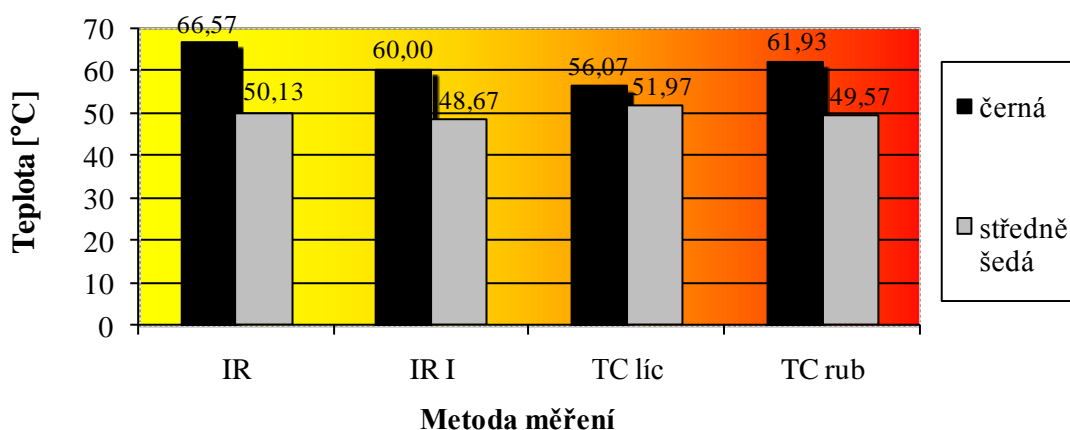
t [min]	Horní vrstva / odstín 7				Dolní vrstva / odstín 4			
	IR	IR I	TC líc	TC rub	IR	IR I	TC líc	TC rub
1	66,70	59,00	54,50	61,30	50,80	49,00	51,30	49,50
3	66,80	60,00	55,20	61,60	50,90	49,00	51,60	49,60
6	67,40	60,00	55,30	62,10	50,60	48,00	52,30	49,90
9	66,30	60,00	55,40	62,40	50,10	48,00	51,90	49,50
12	66,80	60,00	56,20	61,40	50,30	49,00	52,00	49,60
15	66,60	60,00	56,60	62,00	50,00	49,00	52,00	49,60

Teploty rubní strany textilií měřené pomocí termočlánku při skladbě 7/4

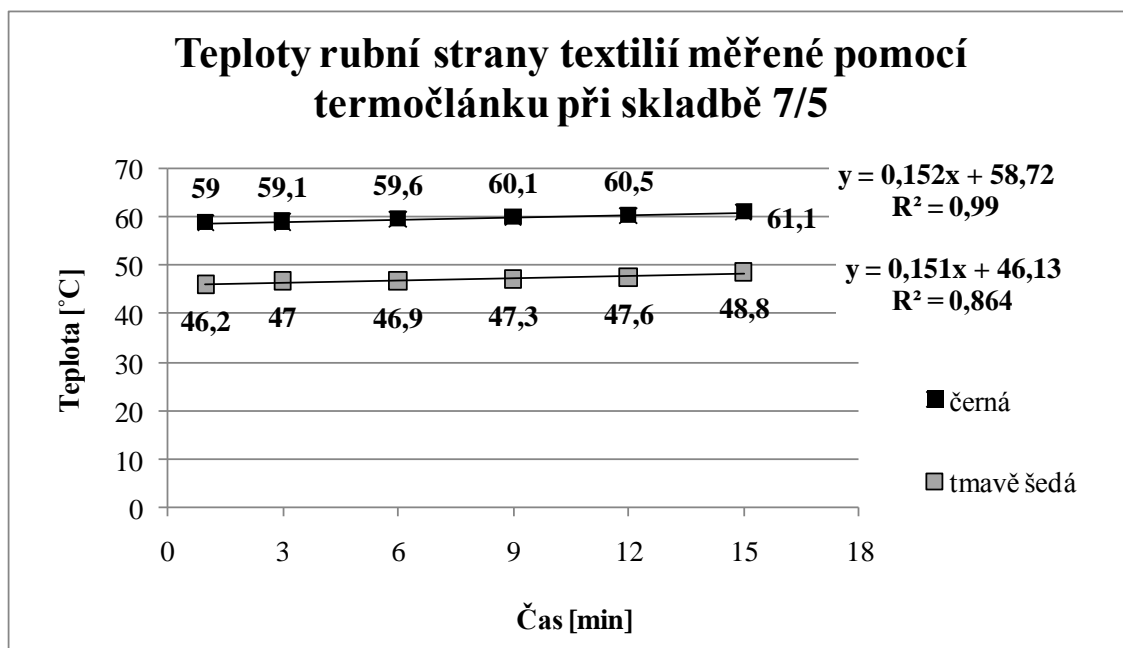


Teplota [°C]	Horní vrstva / odstín 7				Dolní vrstva / odstín 4			
	IR	IR I	TC líc	TC rub	IR	IR I	TC líc	TC rub
\bar{T}	66,57	60,00	56,07	61,93	50,13	48,67	51,97	49,57
s	0,21	0,00	0,50	0,41	0,12	0,47	0,05	0,05
s^2	0,04	0,00	0,25	0,17	0,01	0,22	0,0025	0,05
v [%]	0,31	0,00	0,89	0,66	0,25	0,97	0,09	0,10
95% IS	± 0,52	± 0	± 1,24	± 1,02	± 0,30	± 1,17	± 0,12	± 0,12

Závislost: TEPLOTA / BARVA / METODA MĚŘENÍ

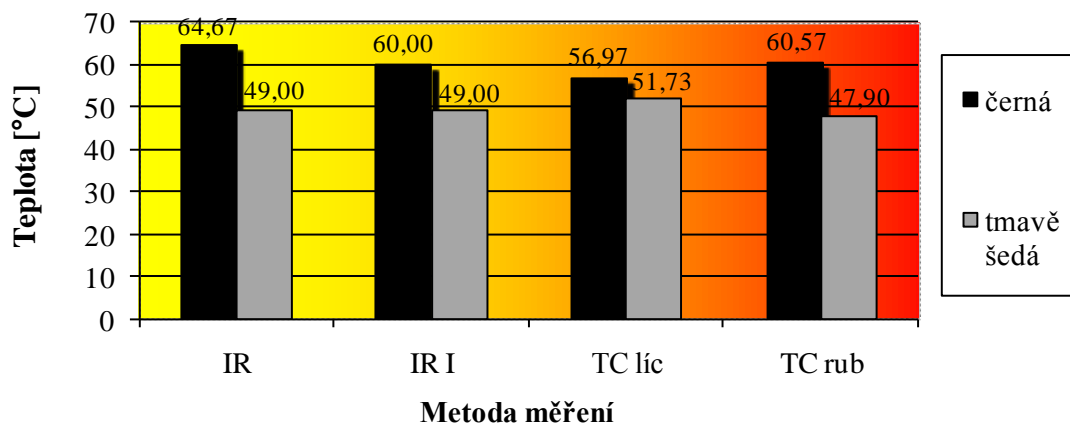


	<i>Horní vrstva / odstín 7</i>				<i>Dolní vrstva / odstín 5</i>			
<i>t [min]</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>
1	62,90	59,00	53,70	59,00	46,40	48,00	46,70	46,20
3	64,40	58,00	53,70	59,10	47,20	49,00	50,20	47,00
6	64,40	59,00	54,10	59,60	48,00	48,00	51,30	46,90
9	64,30	60,00	56,20	60,10	49,00	49,00	51,40	47,30
12	64,80	60,00	57,30	60,50	49,00	49,00	51,60	47,60
15	64,90	60,00	57,40	61,10	49,00	49,00	52,20	48,80



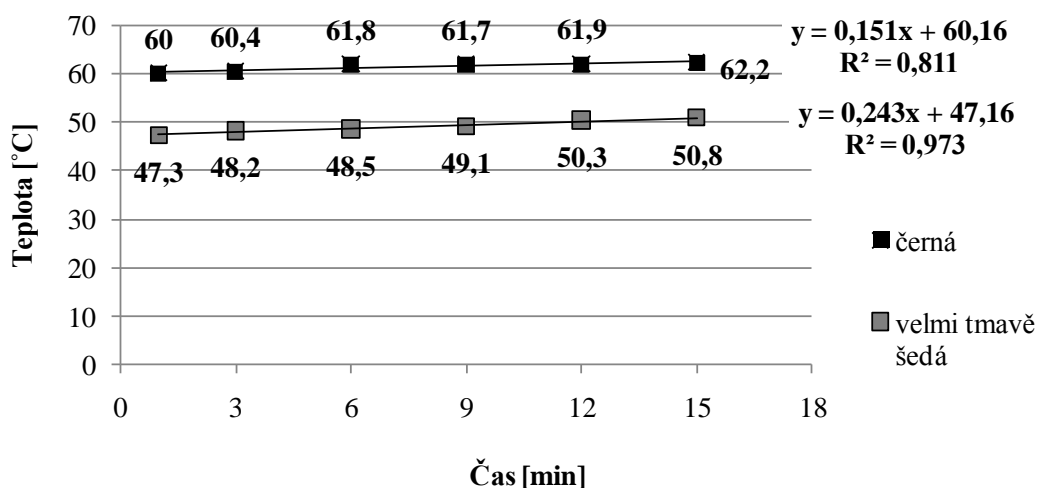
<i>Teplota [°C]</i>	<i>Horní vrstva / odstín 7</i>				<i>Dolní vrstva / odstín 5</i>			
	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC horní</i>	<i>TC dolní</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>
\bar{T}	64,67	60,00	56,97	60,57	49,00	49,00	51,73	47,90
<i>s</i>	0,26	0,00	0,54	0,41	0,00	0,00	0,34	0,65
s^2	0,07	0,00	0,29	0,17	0,00	0,00	0,12	0,42
<i>v [%]</i>	0,41	0,00	0,95	0,68	0,00	0,00	0,66	1,35
95% IS	± 0,65	± 0	± 1,34	± 1,02	± 0	± 0	± 0,84	± 1,61

Závislost: TEPLOTA / BARVA / METODA MĚŘENÍ

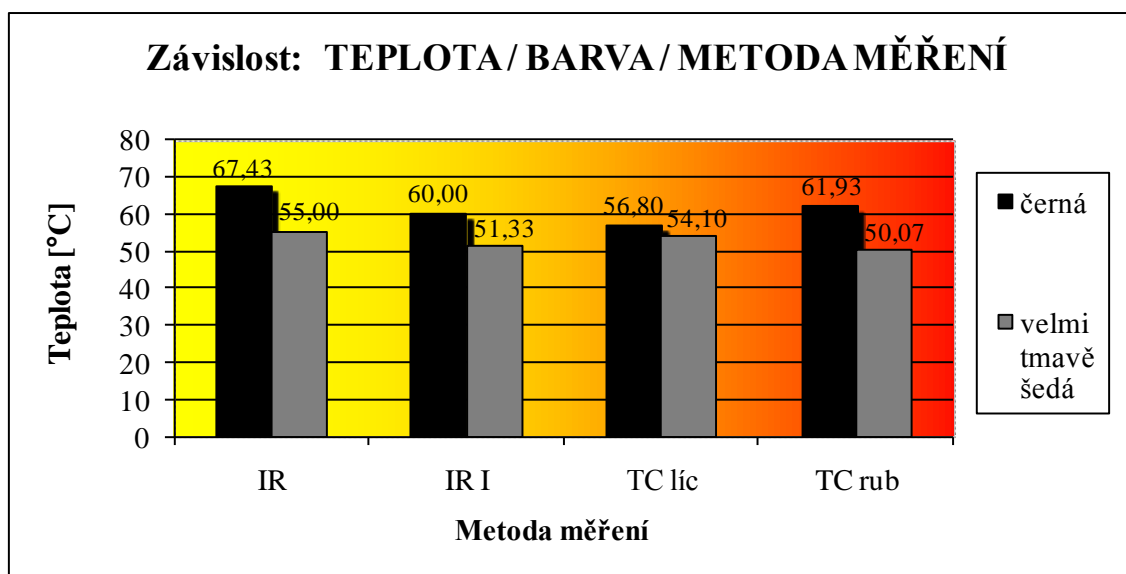


	Horní vrstva / odstín 7				Dolní vrstva / odstín 6			
<i>t [min]</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>
1	61,50	59,00	53,40	60,00	46,50	49,00	52,20	47,30
3	64,90	59,00	54,40	60,40	51,20	49,00	53,00	48,20
6	65,00	60,00	55,70	61,80	51,40	50,00	53,60	48,50
9	66,80	60,00	56,00	61,70	53,60	51,00	53,90	49,10
12	67,40	60,00	57,20	61,90	55,70	52,00	54,10	50,30
15	68,10	60,00	57,20	62,20	55,70	51,00	54,30	50,80

Teploty rubní strany textilií měřené pomocí termočlánku při skladbě 7/6

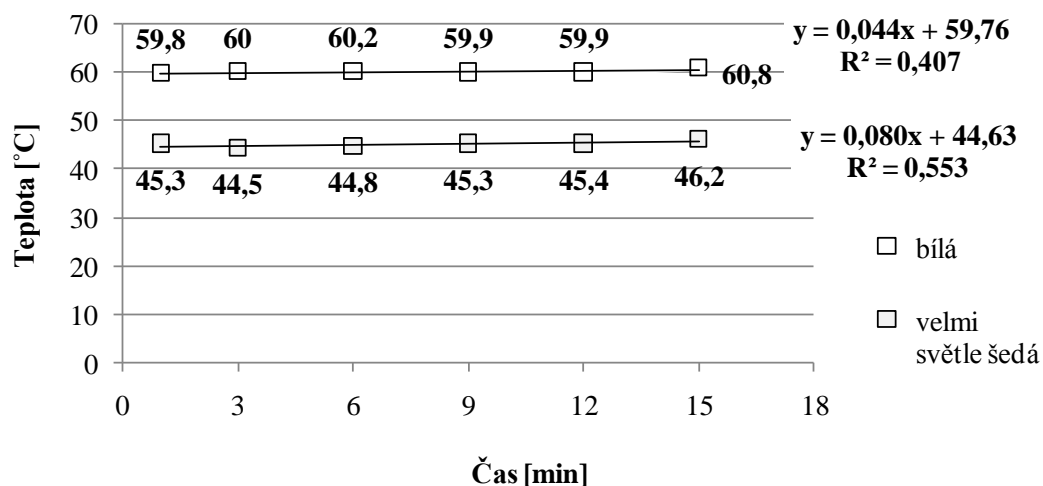


Teplota [°C]	Horní vrstva / odstín 7				Dolní vrstva / odstín 6			
	IR	IR I	TC líc	TC rub	IR	IR I	TC líc	TC rub
\bar{T}	67,43	60,00	56,80	61,93	55,00	51,33	54,10	50,07
s	0,53	0,00	0,57	0,21	0,99	0,47	0,16	0,71
s^2	0,28	0,00	0,32	0,04	0,98	0,22	0,03	0,50
v [%]	0,79	0,00	1,00	0,33	1,80	0,92	0,30	1,42
95% IS	± 1,32	± 0	± 1,42	± 0,52	± 2,46	± 1,17	± 0,40	± 1,76



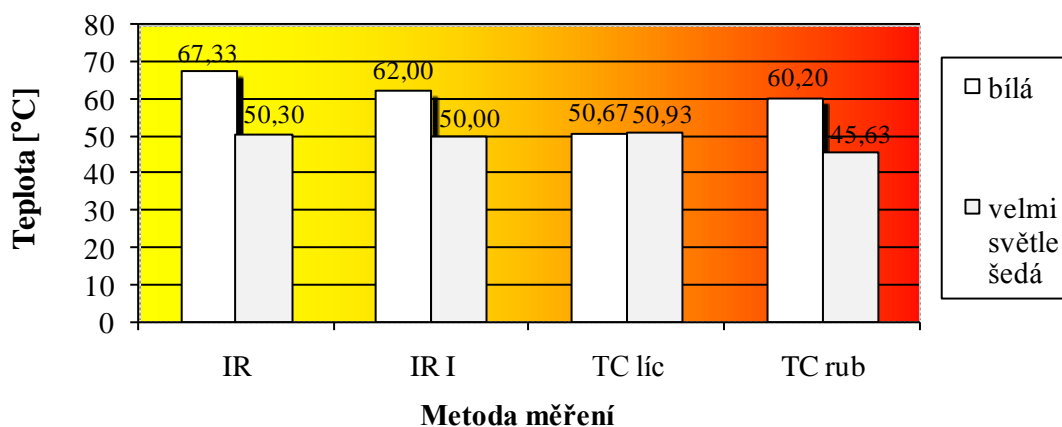
t [min]	Horní vrstva / odstín 1				Dolní vrstva / odstín 2			
	IR	IR I	TC líc	TC rub	IR	IR I	TC líc	TC rub
1	63,20	61,00	49,00	59,80	44,70	46,00	50,20	45,30
3	66,80	61,00	50,00	60,00	48,10	48,00	50,30	44,50
6	67,20	61,00	50,20	60,20	50,30	48,00	50,60	44,80
9	66,90	62,00	50,30	59,90	49,20	50,00	50,80	45,30
12	67,10	62,00	50,60	59,90	49,70	49,00	50,70	45,40
15	68,00	62,00	51,10	60,80	52,00	51,00	51,30	46,20

Teploty rubní strany textilií měřené pomocí termočláнку při skladbě 1/2

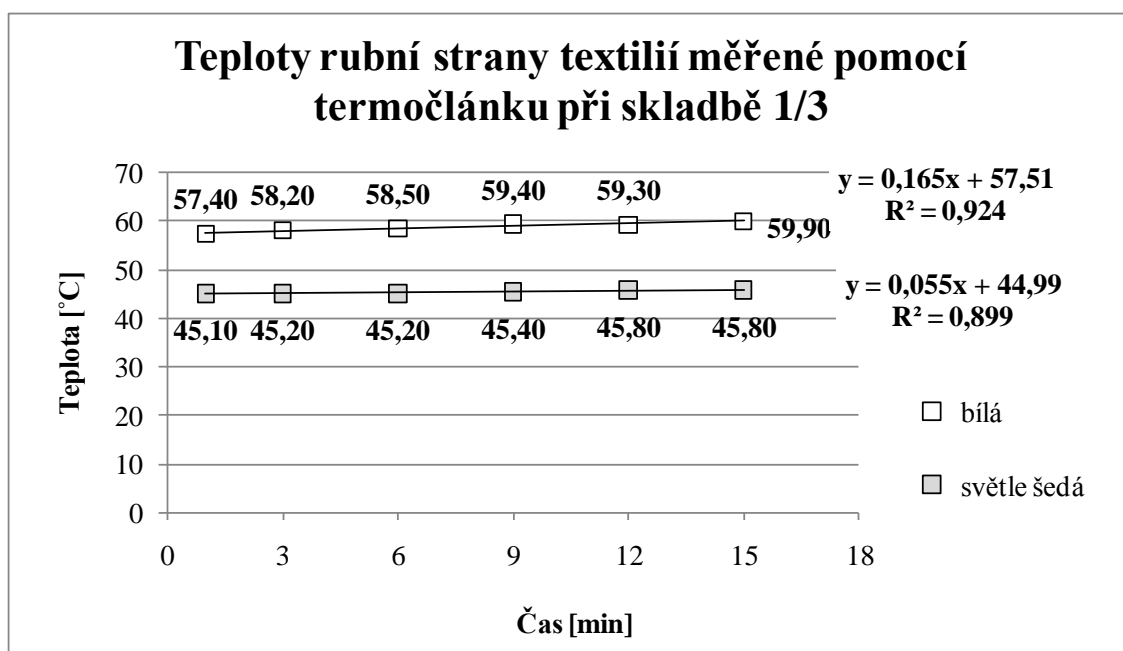


Teplota [°C]	Horní vrstva / odstín 1				Dolní vrstva / odstín 2			
	IR	IR I	TC líc	TC rub	IR	IR I	TC líc	TC rub
\bar{T}	67,33	62,00	50,67	60,20	50,30	50,00	50,93	45,63
s	0,48	0,00	0,33	0,42	1,22	0,82	0,26	0,40
s^2	0,23	0,00	0,11	0,18	1,49	0,67	0,07	0,16
v [%]	0,71	0,00	0,65	0,70	2,42	1,63	0,52	0,88
95% IS	± 1,19	± 0	± 0,82	± 1,04	± 3,03	± 2,04	± 0,65	± 0,99

Závislost: TEPLOTA / BARVA / METODA MĚŘENÍ

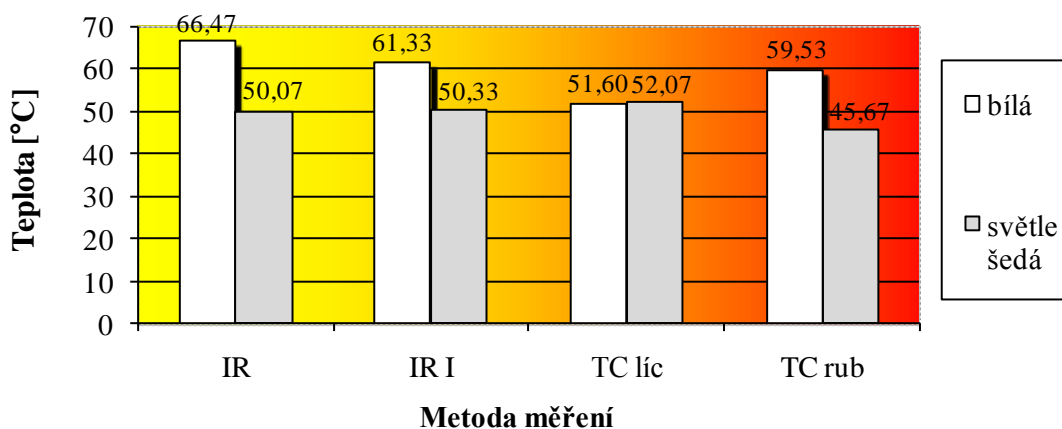


	<i>Horní vrstva / odstín 1</i>				<i>Dolní vrstva / odstín 3</i>			
<i>t [min]</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>
1	66,20	60,00	50,50	57,40	48,00	48,00	49,50	45,10
3	65,60	61,00	50,90	58,20	48,10	49,00	49,60	45,20
6	66,30	63,00	51,20	58,50	48,10	50,00	51,40	45,20
9	66,60	61,00	51,60	59,40	50,60	50,00	52,00	45,40
12	66,50	62,00	51,60	59,30	50,00	51,00	52,10	45,80
15	66,30	61,00	51,60	59,90	49,60	50,00	52,10	45,80



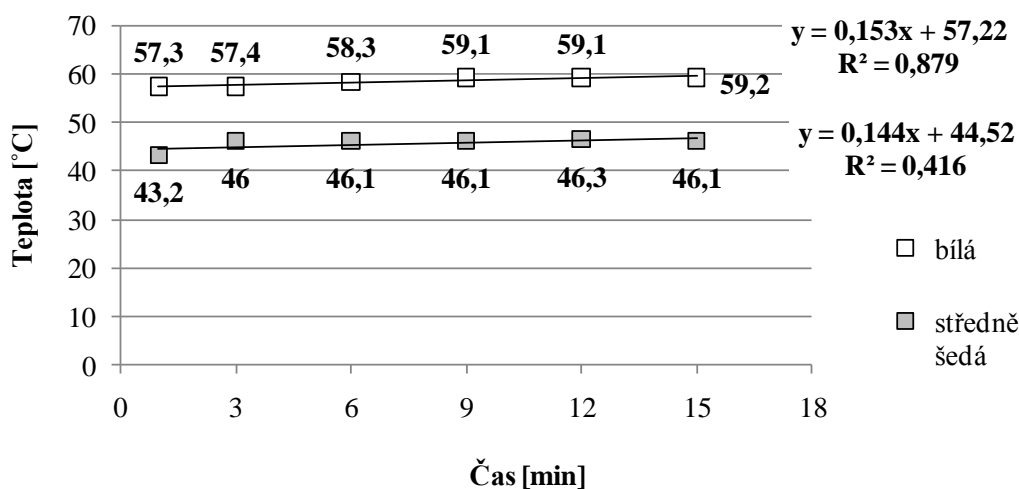
<i>Teplota [°C]</i>	<i>Horní vrstva / odstín 1</i>				<i>Dolní vrstva / odstín 3</i>			
	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>
\bar{T}	66,47	61,33	51,60	59,53	50,07	50,33	52,07	45,67
<i>s</i>	0,12	0,47	0,00	0,26	0,41	0,47	0,05	0,19
<i>s</i> ²	0,01	0,22	0,00	0,07	0,17	0,22	0,0025	0,04
<i>v [%]</i>	0,19	0,77	0,00	0,44	0,82	0,94	0,09	0,41
95% IS	± 0,30	± 1,17	± 0,00	± 0,65	± 1,02	± 1,17	± 0,12	± 0,47

Závislost: TEPLOTA / BARVA / METODA MĚŘENÍ

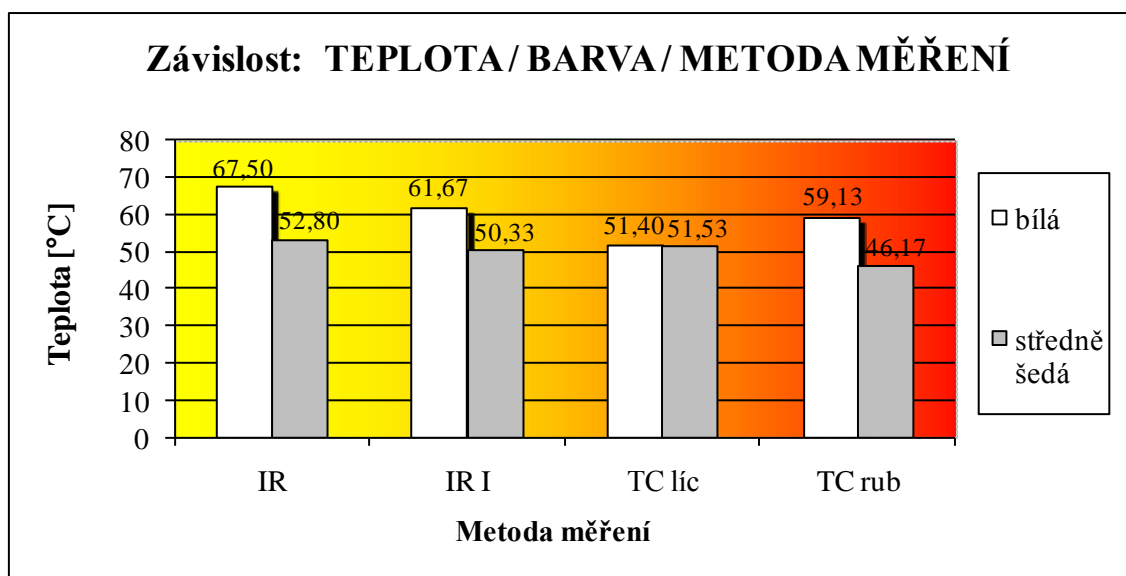


<i>t [min]</i>	<i>Horní vrstva / odstín 1</i>				<i>Dolní vrstva / odstín 4</i>			
	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>
1	64,70	59,00	50,20	57,30	46,30	48,00	49,30	43,20
3	65,80	61,00	50,30	57,40	48,60	49,00	51,40	46,00
6	66,70	61,00	50,90	58,30	50,60	50,00	52,30	46,10
9	67,80	62,00	51,30	59,10	51,30	50,00	51,50	46,10
12	67,50	61,00	51,40	59,10	53,10	50,00	51,70	46,30
15	67,20	62,00	51,50	59,20	54,00	51,00	51,40	46,10

Teploty rubní strany textilií měřené pomocí termočlánku při skladbě 1/4

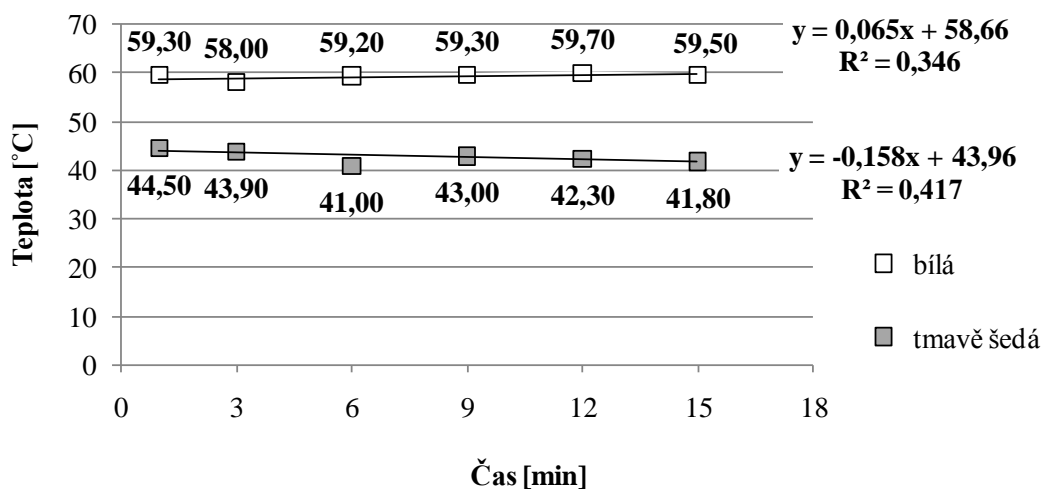


Teplota [°C]	Horní vrstva / odstín 1				Dolní vrstva / odstín 4			
	IR	IR I	TC líc	TC rub	IR	IR I	TC líc	TC rub
\bar{T}	67,50	61,67	51,40	59,13	52,80	50,33	51,53	46,17
s	0,24	0,47	0,08	0,05	1,12	0,47	0,12	0,09
s^2	0,06	0,22	0,01	0,0025	1,25	0,22	0,01	0,01
v [%]	0,36	0,76	0,16	0,08	2,13	0,94	0,24	0,20
95% IS	± 0,60	± 1,17	± 0,20	± 0,12	± 2,78	± 1,17	± 0,30	± 0,22



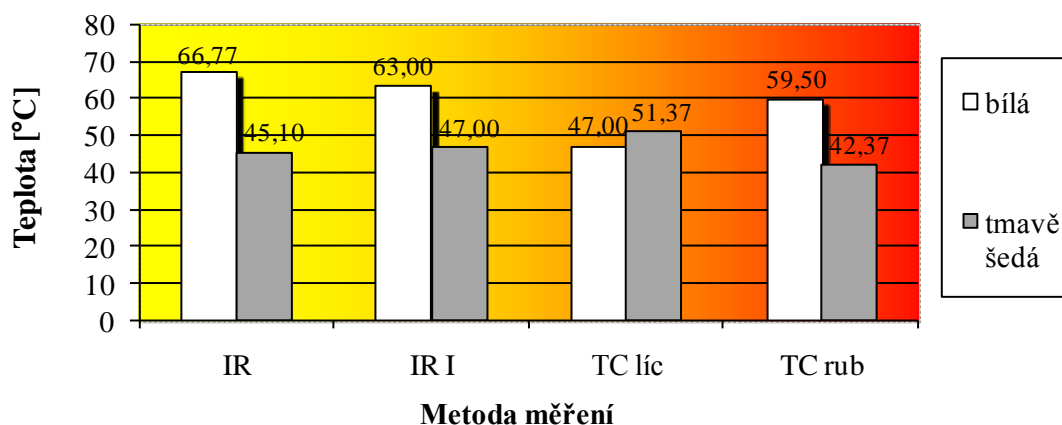
t [min]	Horní vrstva / odstín 1				Dolní vrstva / odstín 5			
	IR	IR I	TC líc	TC rub	IR	IR I	TC líc	TC rub
1	64,80	60,00	49,20	59,30	45,50	47,00	50,70	44,50
3	66,20	63,00	52,80	58,00	47,90	49,00	51,80	43,90
6	65,20	63,00	46,00	59,20	46,40	49,00	47,10	41,00
9	66,80	63,00	47,20	59,30	46,30	46,00	51,00	43,00
12	67,20	63,00	46,10	59,70	44,50	48,00	51,50	42,30
15	66,30	63,00	47,70	59,50	44,50	47,00	51,60	41,80

Teploty rubní strany textilií měřené pomocí termočláнку při skladbě 1/5

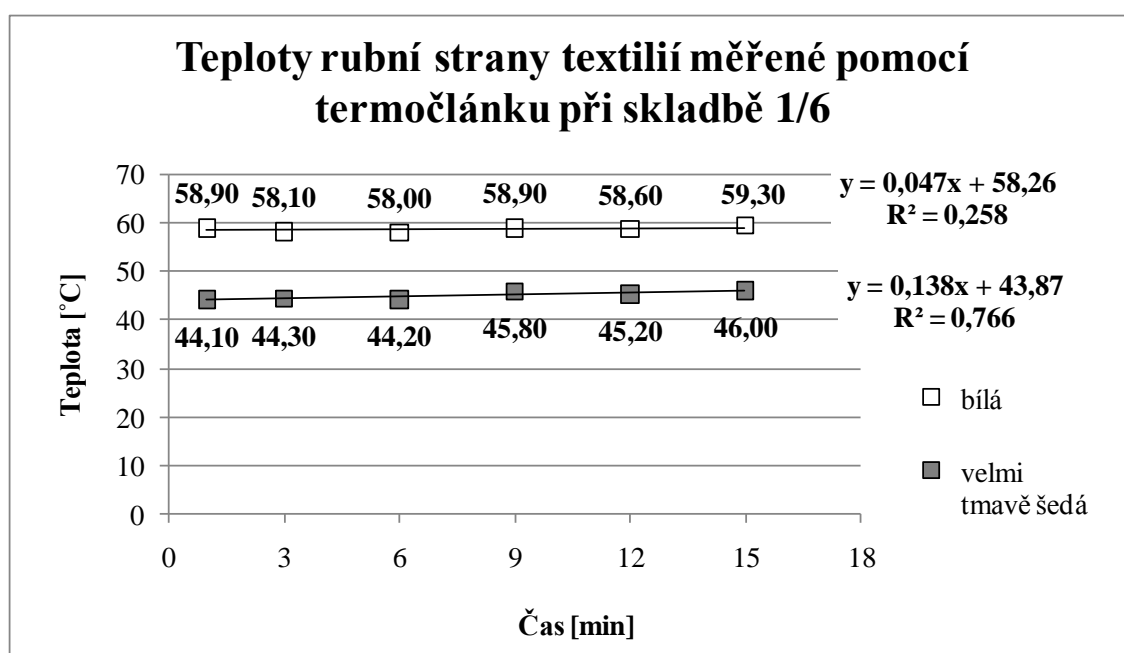


Teplota [°C]	Horní vrstva / odstín 1				Dolní vrstva / odstín 5			
	IR	IR I	TC líc	TC rub	IR	IR I	TC líc	TC rub
\bar{T}	66,77	63,00	47,00	59,50	45,10	47,00	51,37	42,37
s	0,37	0,00	0,67	0,16	0,85	0,82	0,26	0,49
s^2	0,14	0,00	0,45	0,03	0,72	0,67	0,07	0,24
v [%]	0,55	0,00	1,42	0,27	1,88	1,74	0,51	1,16
95% IS	± 0,92	± 0,00	± 1,67	± 0,397	± 2,11	± 2,04	± 0,65	± 1,22

Závislost: TEPLOTA / BARVA / METODA MĚŘENÍ

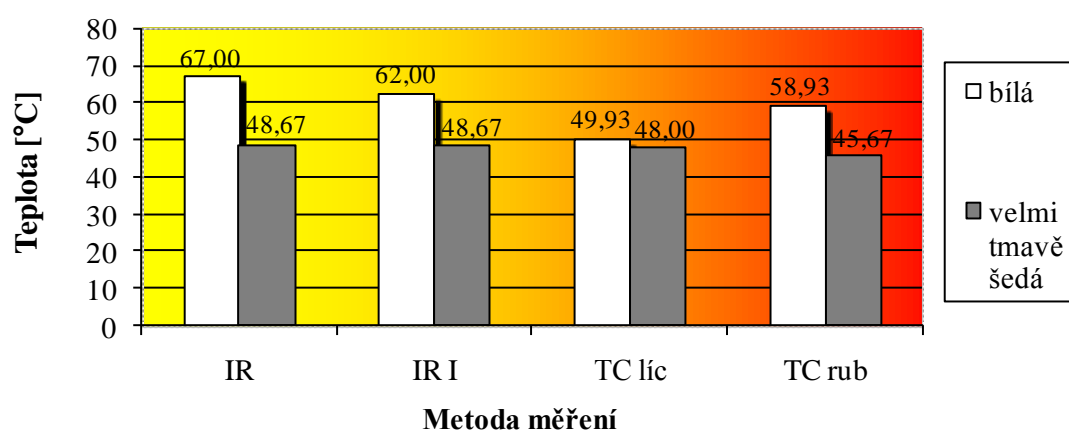


	<i>Horní vrstva / odstín 1</i>				<i>Dolní vrstva / odstín 6</i>			
<i>t [min]</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>
1	63,30	60,00	47,30	58,90	43,70	45,00	45,20	44,10
3	63,10	60,00	47,00	58,10	44,10	46,00	45,40	44,30
6	65,80	61,00	47,90	58,00	45,30	48,00	46,20	44,20
9	67,00	62,00	48,00	58,90	48,70	49,00	47,80	45,80
12	67,10	63,00	50,60	58,60	48,70	48,00	48,00	45,20
15	66,90	61,00	51,20	59,30	48,60	49,00	48,20	46,00



<i>Teplota [°C]</i>	<i>Horní vrstva / odstín 1</i>				<i>Dolní vrstva / odstín 6</i>			
	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>	<i>IR</i>	<i>IR I</i>	<i>TC líc</i>	<i>TC rub</i>
\bar{T}	67,00	62,00	49,93	58,93	48,67	48,67	48,00	45,67
<i>s</i>	0,08	0,82	1,39	0,29	0,05	0,47	0,16	0,34
s^2	0,01	0,67	1,93	0,08	0,0025	0,22	0,03	0,12
<i>v [%]</i>	0,12	1,32	2,78	0,49	0,10	0,97	0,34	0,74
95% IS	± 0,20	± 2,04	± 3,45	± 0,72	± 0,12	± 1,17	± 0,40	± 0,84

Závislost: TEPLOTA/ BARVA/ METODA MĚŘENÍ



Příloha 5 Statistická vyhodnocení stanovení indexu přestupu sálavého tepla u textilií s povrchovou úpravou

<i>Materiál</i>	<i>Průměrné hodnoty</i>		<i>Směrodatná odchylka</i>		<i>Rozptyl</i>		<i>Variační koeficient</i>		<i>95% interval spolehlivosti</i>	
	\bar{T} [°C]	\bar{t} [s]	T [°C]	t [s]	T [°C]	t [s]	T [%]	t [%]	T [°C]	t [s]
Ba	12,01	105,6	0,0094	0,7027	0,0001	0,4939	0,0785	0,6655	± 0,011	± 0,795
Ba+Cr	12,03	145,5	0,0216	2,3841	0,0005	5,6843	0,1796	1,6386	± 0,024	± 2,698
Ba+Zi	12,03	118,8	0,0377	1,5572	0,0014	2,4249	0,3135	1,3108	± 0,043	± 1,762
Ba+Al	12,02	150,9	0,0094	2,5417	0,0001	6,4600	0,0784	1,6843	± 0,011	± 2,876
Ba+Al páska	10,97	1040,6	0,0471	1,3675	0,0022	1,8700	0,4297	0,1314	± 0,053	± 1,547
Ba+“stříbrná“ páska	12,01	127,4	0,0094	3,7358	0,0001	13,9563	0,0785	2,9323	± 0,011	± 4,227
Ba+stříbrná páska + Cr	12,00	468,7	0,0047	1,8264	0,0000	3,3356	0,0393	0,3897	± 0,005	± 2,067
Ba+stříbrná páska + Zi	12,01	145,7	0,0082	2,6637	0,0001	7,0956	0,0680	1,8282	± 0,009	± 3,014
Ba+stříbrná páska + Al	12,01	383,6	0,0047	4,6835	0,0000	21,9356	0,0393	1,2209	± 0,005	± 5,299
Para-aramid s PU/Al zátěrem	11,99	2023,2	0,0082	2,3260	0,0001	5,4105	0,0681	0,1150	± 0,009	± 2,632



Zkušební vzorek Ba + Al páska po mechanickém namáhání

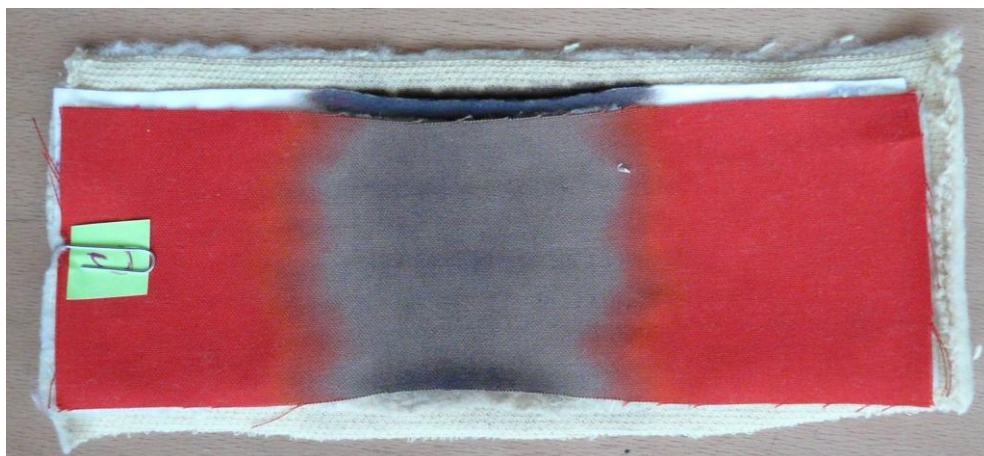
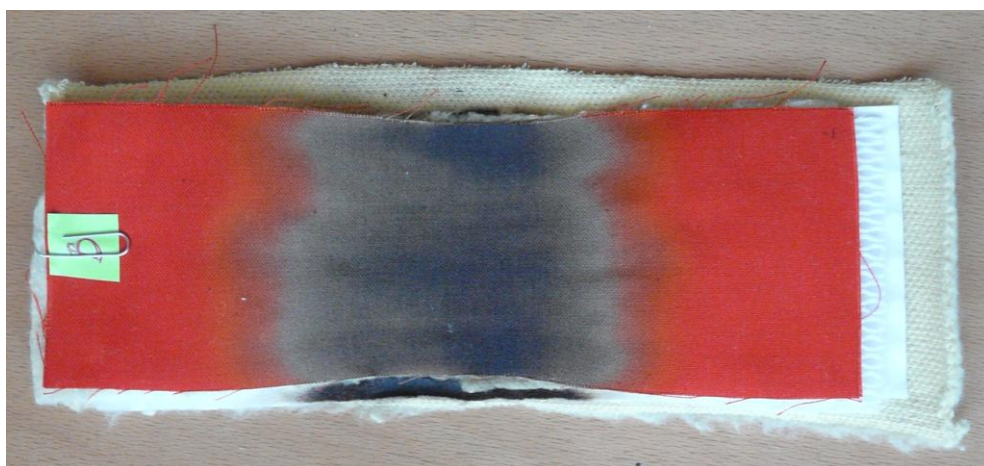
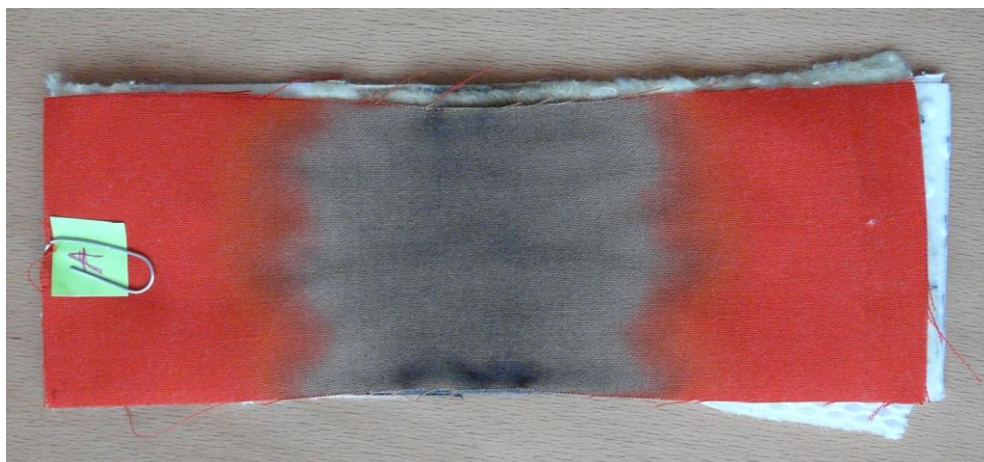
*Příloha 6 Statistická vyhodnocení stanovení indexu přestupu sálavého tepla u textilií
materiálového složení Nomex*

<i>Materiál</i>	<i>Průměrné hodnoty</i>		<i>Směrodatná odchylka</i>		<i>Rozptyl</i>		<i>Variační koeficient</i>		<i>95% interval spolehlivosti</i>	
	\bar{T} [°C]	\bar{t} [s]	T [°C]	t [s]	T [°C]	t [s]	T [%]	t [%]	T [°C]	t [s]
Nomex DeltaC červený	12,00	118,4	0,005	1,494	0,0000	2,233	0,039	1,262	± 0,005	± 1,691
Nomex DeltaC červený + zátěr	12,00	114,9	0,009	1,077	0,0001	1,161	0,073	0,938	± 0,010	± 1,219
Nomex III oranžový	12,01	110,3	0,005	0,329	0,0000	0,109	0,037	0,299	± 0,005	± 0,373
Nomex diana	12,01	110,0	0,013	1,464	0,0002	2,143	0,104	1,331	± 0,014	± 1,657
Nomex III zelený	12,01	107,8	0,008	1,633	0,0001	2,666	0,068	1,514	± 0,009	± 1,848
Nomex Comfort šedý	12,01	105,1	0,005	2,797	0,0000	7,824	0,039	2,662	± 0,005	± 3,165
Nomex Comfort žlutý	12,01	102,5	0,009	1,023	0,0001	1,048	0,078	0,999	± 0,011	± 1,158
Nomex + SI zátěr II.	12,02	97,6	0,014	0,134	0,0002	0,018	0,118	0,137	± 0,016	± 0,152
Nomex + SI zátěr III.	12,00	95,9	0,008	0,799	0,0001	0,638	0,068	0,833	± 0,009	± 0,904
Nomex + PU zátěr I.	12,01	92,1	0,009	1,871	0,0001	3,500	0,079	2,030	± 0,011	± 2,117
Nomex black Comfort + zátěr	12,00	89,2	0,008	0,405	0,0001	0,164	0,068	0,454	± 0,009	± 0,458

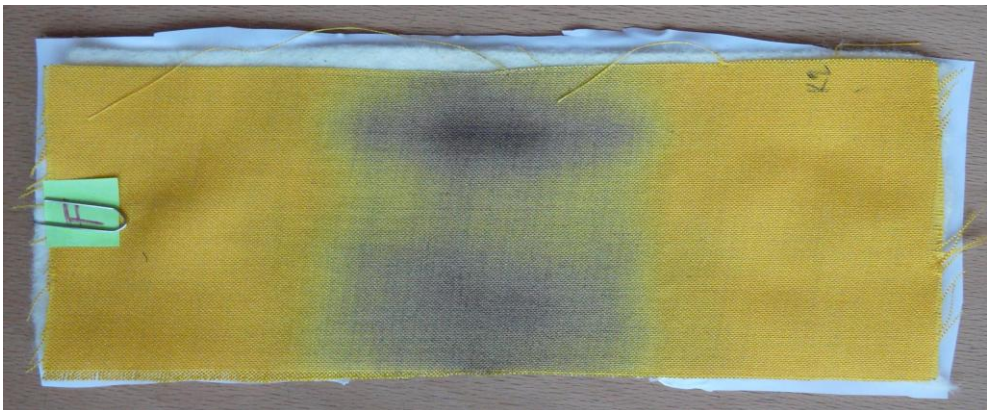
Příloha 7 Statistická vyhodnocení stanovení indexu přestupu sálavého tepla u navržených sendvičů

<i>Typ skladby</i>	<i>Průměrné hodnoty</i>		<i>Směrodatná odchylka</i>		<i>Rozptyl</i>		<i>Variační koeficient</i>		<i>95% interval spolehlivosti</i>	
-	$\bar{T} [^{\circ}\text{C}]$	$\bar{t} [s]$	$T [^{\circ}\text{C}]$	$t [s]$	$T [^{\circ}\text{C}]$	$t [s]$	$T [\%]$	$t [\%]$	$T [^{\circ}\text{C}]$	$t [s]$
A	12,01	44,3	0,000	1,702	0,000	2,896	0,000	3,844	± 0,000	±1,926
B	12,10	48,7	0,082	1,268	0,007	1,607	0,675	2,603	± 0,092	± 1,434
C	12,07	32,8	0,092	1,195	0,008	1,429	0,762	3,641	± 0,104	± 1,353
D	12,01	57,6	0,008	0,804	0,000	0,647	0,068	1,396	± 0,009	± 0,910
D1	12,04	53,1	0,005	0,245	0,000	0,060	0,042	0,461	± 0,006	± 0,277
D2	12,00	53,6	0,005	0,125	0,000	0,016	0,039	0,233	± 0,005	± 0,141
E	12,04	56,4	0,040	0,450	0,002	0,202	0,334	0,798	± 0,046	± 0,509
E1	12,00	51,8	0,000	0,047	0,000	0,002	0,000	0,091	± 0,000	± 0,053
E2	12,00	52,2	0,047	0,163	0,002	0,027	0,147	0,313	± 0,053	± 0,185
F	12,15	19,7	0,082	0,396	0,007	0,157	0,675	2,007	± 0,092	± 0,448

Fotografie navržených sendvičů (A, B, C, D, D1, D2, E, E1, E2, F) po zkoušce odolnosti vůči sálavému teplu







Statistické zpracování dat u stávajících sendvičů

Typ skladby	Průměrné hodnoty		Směrodatná odchylka		Rozptyl		Variační koeficient		95% interval spolehlivosti	
	\bar{T} [°C]	\bar{t} [s]	T [°C]	t [s]	T [°C]	t [s]	T [%]	t [%]	T [°C]	t [s]
-										
a	12,01	26,0	0,000	0,287	0,000	0,082	0,000	1,104	0,000	0,324
b	12,00	43,1	0,005	0,340	0,000	0,116	0,039	0,788	0,005	0,385
c	12,01	23,3	0,008	0,572	0,000	0,327	0,046	2,453	0,009	0,647
d	12,02	31,4	0,008	0,490	0,000	0,240	0,038	1,560	0,009	0,554

Příloha 8 Ukázka průběhu zkoušky měření indexu přestupu sálavého tepla - graf

